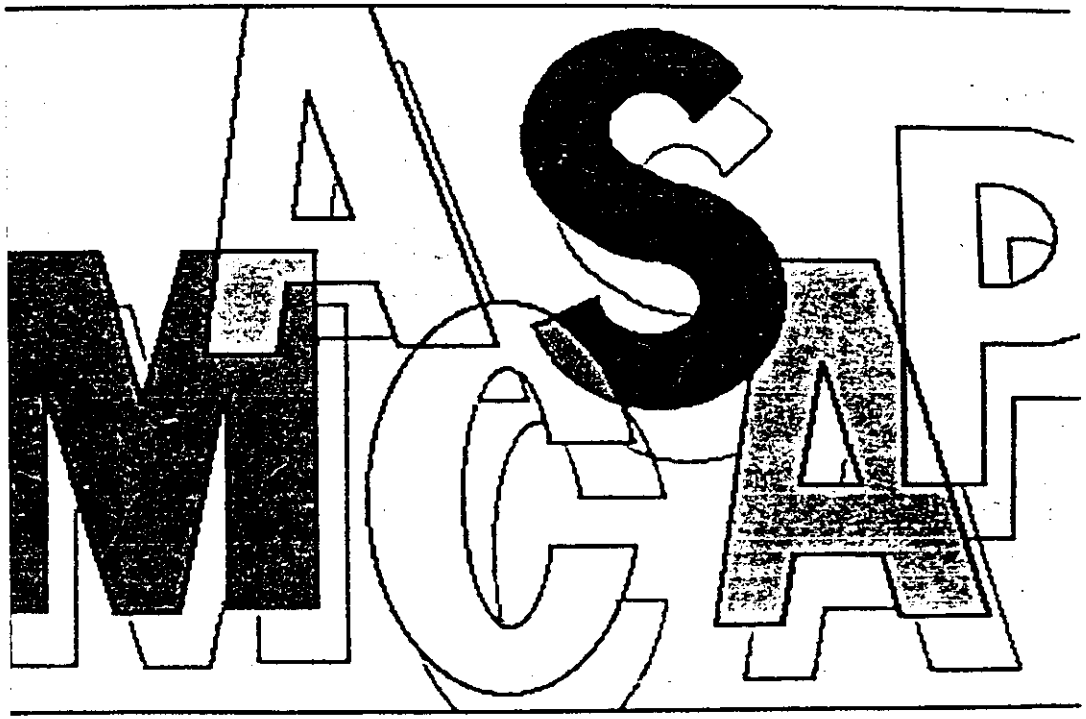
MacSap V

Manuale utente



Softing

MacSap V

Manuale utente

Softing

Le informazioni contenute in questo documento sono soggette a cambiamento senza preavviso e non costituiscono impegno alcuno da parte della Softing s.r.l.
Il software descritto in questo documento è fornito sotto un accordo di licenza d'uso.
Il software può essere usato solo nel rispetto dei termini di tale accordo.
Nessuna parte di questo manuale, e per nessun motivo, può essere riprodotta o trasmessa in alcuna forma o con alcun mezzo, sia elettronico che meccanico, inclusa la fotocopiatura.

Manuale utente MacSap® V
Sistemi Apple Macintosh

Pubblicato dalla Softing s.r.l.
Via Reggio Calabria, 6 - Roma

© Copyright Softing s.r.l., 1990
Tutti i diritti riservati

Softing®, il logo Softing, MacSap®, MacBeam® e CADSap® sono marchi registrati della Softing s.r.l.
Apple® e Macintosh® sono marchi registrati della Apple Computer Inc.
MS-DOS® è un marchio registrato della Microsoft Corporation.
OS/2® è un marchio registrato della International Business Machines Corporation.

INDICI

ATTENZIONE:
Requisiti di sistema ed installazione sono descritti nell'Appendice A

Indice generale

Indice grafico
Indice analitico
Introduzione

Sezione A - Il disegno

Sezione B - Le autogenerazioni

Sezione C - Le assegnazioni

Sezione D - La rappresentazione dei dati

Sezione E - L'analisi

Sezione F - I risultati

Sezione G - Archiviazione e stampa

Sezione H - Funzioni speciali

Appendici

INDICI

Indice dell'introduzione

1 Cosa è MacSap

3 Attestato del Politecnico di Milano

4 Modellazione ed analisi
5 Sistemi di riferimento globale e locale
6 Gradi di libertà
7 Condizioni di carico
8 Unità di misura
8 Precisione
9 Elementi monodimensionali
9 Elementi bidimensionali
11 Impalcati rigidi
12 Metodi di analisi

13 Interfaccia grafica

17 Una visita guidata a MacSap

Indice della sezione A

Il disegno

1 Lo spazio di lavoro
2 La palette
3 Definire la scala
4 Gli assi coordinati
5 Scegliere il piano di lavoro
6 Lavorare per sezioni
7 Trasla, Ruota, Zoom
8 Tracciare un elemento
9 Usare la griglia
10 Cancellazione
11 Posizionamento numerico dei nodi
12 Spostare un nodo
13 Selezione di nodi e di elementi

Indice della sezione B

Le autogenerazioni

1 Le autogenerazioni
2 Generazione di linee
3 Mappaggio parametrico
4 Generazione di superfici
5 Interpolazione
6 Triangolazione
7 Generazione telai

Indice della sezione C

Le assegnazioni

1 Le assegnazioni
2 I vincoli
3 Le forze nodali
4 Le masse nodali
5 I carichi sugli elementi
5.1 Carico generico
5.2 Carico uniforme
5.3 Carico trapezoidale
5.4 Peso proprio
5.5 Carico termico
5.6 Spostamenti imposti
6 Le masse sugli elementi
7 Gli elementi
7.1 Asta
7.2 Trave generica
7.3 Trave rettangolare
7.4 Trave Winkler
7.5 Rigel
7.6 Boundary
7.7 Lastra
7.8 Piastra
7.9 Guscio
7.10 Assialsimmetrico
7.11 Deformazione piana
7.12 Piastra Winkler
8 Il nodo K
9 Costanti generali
10 Costanti dinamiche

Indice della sezione D

La rappresentazione dei dati

1 Mostra dati
2 Rappresentazione dei vincoli
3 Rappresentazione delle forze
4 Rappresentazione dei carichi
5 Rappresentazione del riferimento locale
6 Rappresentazione del tipo di elemento
7 Shrink
8 Rappresentazione solida
9 Rimozione delle linee nascoste
10 Numerazione dei nodi
11 Numerazione degli elementi

Indice della sezione E

L'analisi

1 Analisi
2 Analisi statica
3 Analisi statica e dinamica
4 Storia della risposta
5 Analisi non lineare di telai

Indice della sezione F

8

I risultati

1 I risultati
2 Gli spostamenti
3 Gli sforzi
4 La struttura deformata
5 Deformate modali
6 Diagrammi degli sforzi
7 Direzioni principali
8 Le curve di isosforzo

Indice della sezione G

9

Archiviazione e stampa

1 Registrazione di un documento
2 Lettura di un documento
3 Stampa dello schermo
4 La stampa dei dati
5 Lettura delle stampe

Indice della sezione H

Funzioni speciali

1 Master-slave
2 Nodo baricentrico
3 Registrare un documento MacBeam

Indice delle appendici

Appendice A

1 Requisiti del sistema

Appendice B

1 Formato del file dello Spettro
2 Formato del file del Sagomario
3 Formato del file della Forzante

Appendice C

1 Messaggi di errore

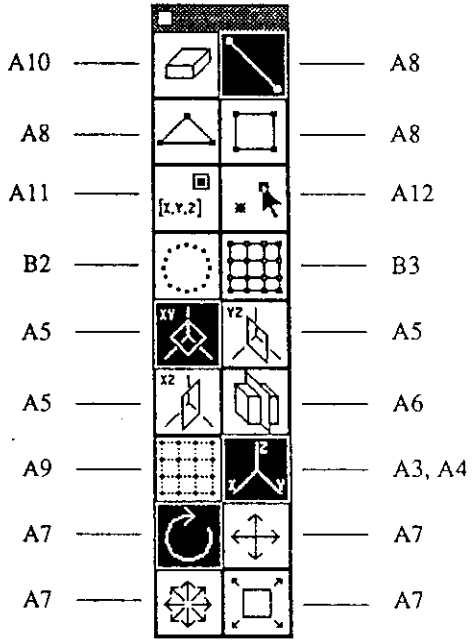
Appendice D

1 Momenti d'inerzia
2 Inerzia torsionale
3 Area al taglio
4 Coefficienti di dilatazione termica
5 Reazioni di incastro perfetto
6 Coefficienti di sottofondo
7 Modulo elastico
8 Formule utili

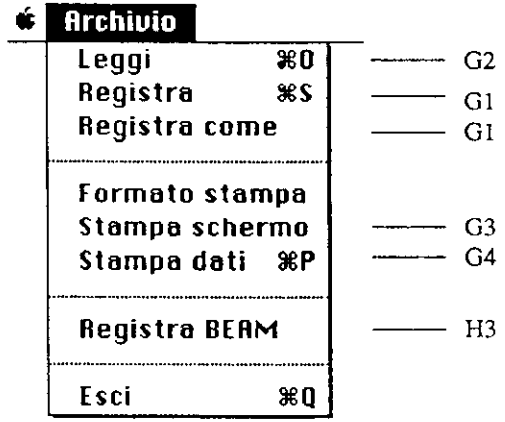
Appendice E

1 Sistema di riferimento locale: elementi a due nodi
2 Sistema di riferimento locale: elementi a tre nodi
3 Sistema di riferimento locale: elementi a quattro nodi
4 Il metodo master-slave
5 L'uso di elementi finiti bidimensionali
6 Fattorizzazione della matrice di rigidezza
7 Analisi modale
8 Analisi sismica
9 Lo spettro di risposta
10 Ottimizzazione di semibanda
11 Storia della risposta
12 Piastra su suolo elastico
13 Piastra
14 Analisi non lineare
15 Bibliografia

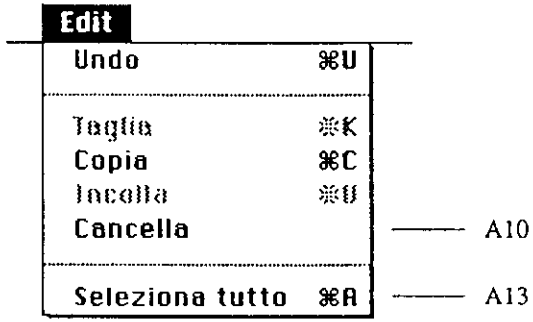
Palette



Menu Archivio

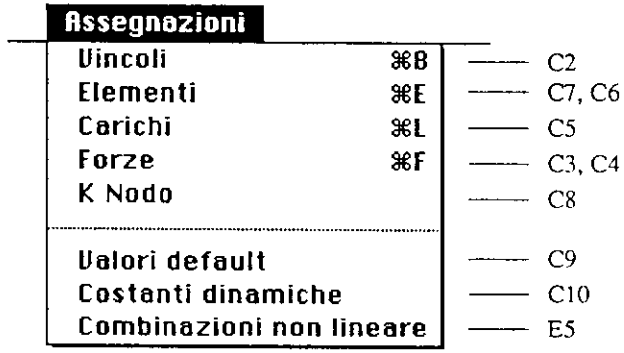


Menu Edit

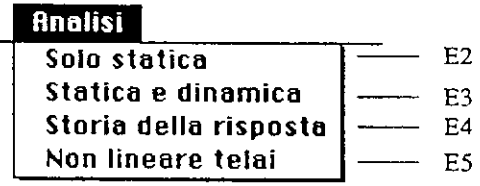


Menu Funzioni

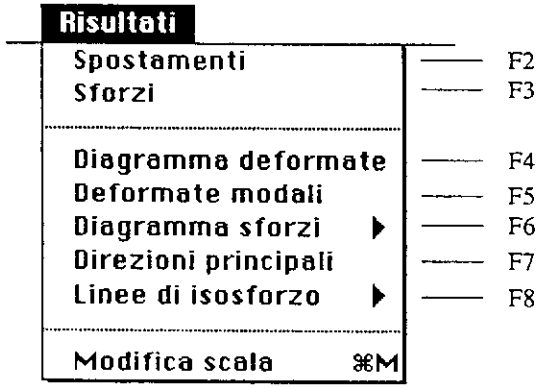
Menu Assegnazioni



Menu Analisi



Menu Risultati



Legenda

Il riferimento A5/2.3 si riferisce, ad esempio, alla sezione A, capitolo (5.2), pagina 3.
I riferimenti in corsivo si riferiscono alle appendici.
I riferimenti in corsivo non preceduti da alcuna lettera si riferiscono invece all'introduzione.

A

Abilitazione delle masse vedi Masse abilitazione delle
Accelerazione, voce di dialogo C10.2
Ambiente operativo *13*
Ampiezza di semibanda vedi Semibanda, ampiezza di
Analisi **E1**
— dinamica vedi Dinamica, analisi
—, menu E1.1
—, metodi di *12*, **E1.1**
— modale, messaggio E3.1
— modale vedi Modale analisi
— non lineare vedi Non lineare analisi
— sismica vedi Sismica analisi
— statica E1.1, **E2**
Apple Computer *2*
Archivio, menu G1.1, G3.1, G4.1
Area a taglio C7/3.2, *D3*
Artificiale, rigidezza C7/6.2
Assegnazioni, le **C1**
—, menu C3.2, C5.3
Assemblaggio, messaggio E2.1
Asse neutro F3.4
Assiale, diagramma dello sforzo F6.1
—, rigidezza C7/6.2
—, spostamento vedi Spostamento assiale
Assialsimmetrico C7.3, **C7/10**
—, sforzi F3.2

Assi coordinati, gli A4
Assonometrica, proiezione *14*, A1.1, A7.1
Asta C7.1, **C7/1**
Autogenerazioni, le **B1**
Autoscala A7.2

B

Baricentrico, nodo vedi Nodo baricentrico
Baricentro C4.1
—, calcolo del vedi Calcola baricentro
Barre di scorrimento vedi Scorrimento, barre di
Bibliografia *E15*
Bidimensionali, elementi *9*, *18*, A7.1
—, elementi, uso dei *E5*
Blocchi, fattorizzazione a *E6.1*
Blù, colore delle tensioni F7.1
Boundary C5/6.1, C7.2, **C7/6**
—, uso del C7/6.2

C

CADSap *1*
Calcola baricentro, voce di menu C4.3, **H2.1**
Cancella, voce di menu A10.1
Cancellazione **A10**
Carichi **C5**
—, rappresentazione dei **D4**
—, voce di menu C5.3, C6.1
Carico, combinazioni di *7*, C5.3, F4.1, F6.3
—, condizioni di *1*, *7*, C3.2, C5.1
— critico vedi Critico, carico
— da peso proprio vedi Peso proprio
— distribuito vedi Distribuito, carico
— generico vedi Generico, carico
— lineare vedi Trapezoidale carico

Carico termico vedi Termico, carico
—, tipi di **C5.2**, G5.3
— trapezoidale vedi Trapezoidale, carico
Carrello C2.1, C2.2
Cebyshev, norma di E5.1
Cerchio, generazione del B2.1
—, generazione del, esempio B2.2
Cerniera C2.1, C2.2, C2.4
Chiudi, voce di dialogo B4.6
Cilindriche, coordinate B4.1
Cinematico, rapporto C7/5.1
Clic A2.1
Clic, doppio A2.1
CNR, istruzioni G5.1
Coefficiente di risposta vedi Risposta, coefficiente di
Colore, uso del *A1.1*
Combinazioni di carico vedi Carico, combinazioni di
— non lineari, voce di menu E5.3
Compressione, tensioni di F3.2, F3.4, F7.1
Concentrate, masse vedi Lumped
Condensazione statica C7/8.1
Condizioni di carico vedi Carico, condizioni di
Conformi, funzioni *E5.1*
Contatto, pressioni di C7/4.3, C7/12.3, *D8.1*
Contrassegno degli oggetti selezionati A13.1
Coordinate del nodo A11.1
—, modificare le vedi Modificare le coordinate
Coordinati, gli assi vedi Assi coordinati, gli
—, piani A5.1
Coprocessore matematico *A1.1*
Costante, carico vedi Distribuito, carico
—, temperatura vedi Temperatura costante

Costanti dinamiche **C/10**
— dinamiche, voce di menu C6.1, C/10.1
— generali **C/9**
Critico, carico E5.2
Cursore A1.2
Curve di isosforzo vedi Isosforzo, curve di

D

Dati, stampa dei vedi Stampa dei dati
Default, orientamento di vedi Orientamento di default
Definibile, voce di dialogo B4.2
Deformata, struttura **F4**
Deformate modali **F5**
Deformazione piana, elemento C7.3, **C7/11**
— piana, sforzi F3.2
Densità C5/4.1, C9.1
— di massa vedi Massa, densità di
—, voce di dialogo C5/4.1, C6.2
De Saint-Venant C7/4.3
Diagramma deformate, voce di menu F4.1
— degli sforzi **F6**
— sforzi, voce di menu F6.1
Difetto, di vedi Default
Dilatazione termica, coefficiente di C5/5.1, C/9.1, *D4*, *D8.1*
Dinamica, analisi C10.1, E1.1, **E3**
Dinamiche, costanti vedi Costanti dinamiche
Direzione sisma, voce di dialogo C10.2
Direzioni principali **F7**
— principali, voce di menu F7.2
Disabilitazione del tracciamento A8.2
Dispositivo di protezione vedi Protezione, dispositivo di
Distribuita, massa vedi Massa distribuita
—, voce di dialogo C6.2

Distribuito, carico C5.2, **C5/2**
—, voce di dialogo C5/2.1
Documento, lettura di un vedi Lettura di un documento
— MacSap G1.1, G1.2
—, registrazione di un vedi Registrazione di un documento
Doppia precisione vedi Precisione, doppia
Doppio clic A2.1
Duplica, voce di dialogo B4.3
Duplicazione B1.3

E

Edit, menu A10.1, A13.2, B7.1
Efficace, valore *E8.4*
Efficaci, valori F3.5
Elasticità, modulo di C9.1, C9.2, ***D7***
Elastico, suolo vedi Suolo elastico
Elementi C7
— finiti, metodo degli *1*
—, numerazione degli vedi Numerazione degli elementi
—, voce di menu C7.4
Elemento, tipo di **C7.1**, G5.2
—, tracciare un vedi Tracciare un elemento
Equalizzazione, fattore di F8.2
—, funzione di F8.4
Equivalenti, tensioni vedi Tensioni equivalenti
Errori, messaggi di E1.1, ***C1***
E, simbolo del modulo di elasticità
Estrusione B1.2, **B4.1**
— dei nodi vedi Nodi, estrusione dei
—, esempio B4.4, B4.7

F

Fattorizzazione ***E6***
—, messaggio E2.1

Files temporanei vedi Temporanei, files
Finestra *14*
—, titolo della vedi Titolo della finestra
Floating Point *2*
Formato di stampa vedi Stampa, formato di
Formule utili ***D8***
Forzante, errori di sintassi *B3.1*
—, esempio di file *B3.2*
—, file E4.1, *A1.2*, *B3.1*
—, formato del file ***B3***
—, funzione E4.1
— sinusoidale *B3.4*
Forze nodali **C3**, G5.1
—, rappresentazione delle **D3**
—, voce di menu C3.2, C4.3
Frequenze da calcolare, voce di dialogo C10.2
Funzioni, menu A2.4, B4.2, B5.1, C3.3, C4.3
—, simbolo delle A2.1

G

Gauss, metodo di *E6.1*
Generali, costanti vedi Costanti generali
Genera superfici, voce di menu B4.2
— telai, voce di menu B7.1
—, voce di dialogo A11.2
Generazione di linee B1.1, **B2**
— di superfici **B4**
— per estrusione B1.2, **B4.1**
— per estrusione, esempio B4.4, B4.7
— per rotazione B1.2, **B4.1**
— pilastri B7.1
— telai **B7**
Generico, carico C5.2, **C5/1**

Generico, voce di dialogo C5/1.1
Globale, riferimento vedi Riferimento, sistema globale di
Gradi di libertà *6*, C2.1
Gradiente termico vedi Temperatura, variazione lineare della
Grafiche, primitive vedi Primitive grafiche
Griglia, passo della A9.1
—, usare la **A9**
G, simbolo del modulo di elasticità tangenziale
Guscio C7.3, **C7/9**

H
I

HEA, tipo di profilo *B2.1*

Icone A2.1
— dei vincoli vedi Vincoli, icone dei
Impalcato B7.1
— rigido vedi Rigido, impalcato
Incastro C2.1, C2.2, C2.4
— perfetto, reazioni *D5*
Incremento, voce di dialogo B7.2
Inerzia, momenti di *D1*
— torsionale C7/3.2, C7/4.3
Instabile, elemento E5.2
Instabilità globale E5.2
Installazione *A1.2*
Intensità sismica *E9.1*
Interfaccia grafica *1*, *4*, *13*
— utente *1*
Interni, vincoli vedi Vincoli interni
Interpolatrice, funzione *E5.1*
Interpolazione **B5**
— lagrangiana B1.4, **B5.1**
—, voce di menu B5.1

Intestazione delle stampe vedi Stampe, intestazione
IPE, tipo di profilo *B2.1*
Isosforzo, curve di **F8**
Iterazioni, numero massimo di E5.2

K

Kirchhoff, teoria di *E13.1*
K nodo, metodo del vedi Nodo K, metodo del
— nodo, voce di menu C8.3
—, simbolo del coefficiente di sottofondo

L

Labilità interna C7/2.3
Lagrangiana, interpolazione vedi Interpolazione lagrangiana
Lagrangiane, coordinate *E8.1*
Laser, stampante G3.1, *A1.2*
Lastra C7.2, **C7/7**
Lato, voce di dialogo C7/3.1
Lavoro, spazio di vedi Spazio di lavoro
LCCT9, tipo di elemento *E13.1*
Leggi, voce di menu G2.1
Lettura degli sforzi vedi Sforzi, gli
— degli spostamenti vedi Spostamenti, gli
— di un documento **G2**
Libertà, gradi di vedi Gradi di libertà
Limiti operativi *A1.2*
Lineare, carico vedi Trapezoidale, carico
—, variazione della temperatura vedi Temperatura, variazione
Linee di isosforzo, voce di menu F8.2
—, generazione di vedi Generazione di linee
— nascoste, voce di dialogo D9.1
Locale, riferimento vedi Riferimento, sistema locale di
Lumped C6.1

M

MacBeam *1*
—, documento H3.1
Macintosh *A1.1*
MacSap, introduzione a *1*
— V *A1.1*
Maiuscole, tasto delle A13.2
Mappaggio parametrico **B3**
Massa, densità di C6.2
— distribuita C6.2
— specifica vedi Massa, densità di
Masse, abilitazione delle C10.1
— attive C6.1
— nodali **C4**
—, sistema di C4.1
— sugli elementi **C6**
— tipo G5.4
—, voce di dialogo C4.3, C6.1
Master-slave *11*, G5.4, **H1**, *E4*
—, uso del H1.3
Matrice di rigidezza, fattorizzazione della vedi Fattorizzazione
Membrana C7*7*.1
Mesh B3.2
Messaggi di errore vedi Errore, messaggi di
Misura, unità di vedi Unità di misura
Modale, analisi *E7*
—, analisi vedi Analisi modale
Modali, deformate vedi Deformate modali
—, forme F5.1
Modellazione *4*
Modi di vibrare, primi C4.1
— di vibrare vedi Vibrare, modi di
Modificare le coordinate A11.1

Modifica scala, voce di menu F4.2, F5.2
Modulo di elasticità vedi Elasticità, modulo di
— di elasticità tangenziale vedi Tangenziale, modulo di elasticità
Momento d'inerzia polare C4.1
— flettente, diagramma del F6.1
Monodimensionali, elementi *9*, *10*
Mostra dati, voce di menu **D1**
— strumenti, voce di menu A2.4
MS-DOS *A1.1*
M, simbolo di momento flettente
Mxy, simbolo di momento torcente

N

Neutro, asse vedi Asse neutro
Nodi, estrusione dei B7.1
Nodi, numerazione dei vedi Numerazione dei nodi
—, posizionamento numerico dei **A11**
Nodo baricentrico **H2**
—, coordinate del vedi Coordinate del nodo
—, generazione numerica del A11.2
— K **C8**
— K, metodo del *E1.3*
— master vedi Master-slave
— slave vedi Master-slave
—, spostare un vedi Spostare un nodo
—, tracciare un vedi Tracciare un nodo
Non definita positiva, matrice E5.2
— lineare analisi E1.1, **E5**
N, simbolo di sforzo o tensione assiale
Numera elementi, voce di dialogo D11.1
— nodi, voce di dialogo D10.1
Numerazione degli elementi **D11**
— dei nodi **D10**

Numerica, generazione del nodo A11.2
Nxy, simbolo della tensione tangenziale

O

Ombreggiatura, voce di dialogo D9.1
Operativi, limiti vedi Limiti operativi
Operativo, ambiente *13*
—, sistema *A1.1*
Orientamento di default C8.1, *E1.3*
OS/2 *A1.1*
Ottimizzazione della semibanda vedi Semibanda, ottimizzazione
Ottimizzazione, messaggio E2.1

P

Palette, funzioni della A2.2, A2.3
—, la **A2**
Panoramica A7.2
Parametrico, mappaggio vedi Mappaggio parametrico
Partecipazione modale, coefficiente di *E8.3*
Passo della griglia vedi Griglia, passo della
Periodi propri E3.1
Peso proprio C5.2, **C5/4**
— specifico vedi Densità
— specifico, voce di dialogo C9.1
Piano di lavoro, metodo del *15*, A1.2
— di lavoro, scelta del **A5**
Piastra C7.2, **C7/8**, *E13*
— inflessa C7/8.1
— su suolo elastico vedi Piastra Winkler
— Winkler C7.3, **C7/12**, *E12*
Pilastri, selezione dei A13.3
Platea C7/12.1
Poisson, coefficiente di C9.1, C9.2, *D8.1*
Polare, inerzia vedi Momento d'inerzia polare

Politecnico di Milano *2*
— di Milano, attestato del *2*
Posizionamento numerico dei nodi **A11**
PostScript G3.1, *A1.2*
Precisione, controllo della *8*
—, doppia *A1.2*
Predicato verbo A13.1
Pressione C5/2.4
— di contatto vedi Contatto, pressione di
— sul terreno vedi Contatto, pressione di
Primario, nodo C7/5.1, C7/5.2
Primitive grafiche *16*
Principali, direzioni vedi Direzioni principali
Profilo C7/1.1, C7/2.1, *B2.2*
Proiezione assonometrica vedi Assonometrica, proiezione
Protezione, dispositivo di *A1.1*
— sismica *E9.1*

Q

Quota A5.1, A5.2

R

Radiale, simmetria vedi Simmetria radiale
Radianti F2.1
RAM minima *A1.1*
Rappresentazione degli spostamenti vedi Spostamenti, rappresentazione degli
— dei carichi vedi Carichi, rappresentazione dei
— dei vincoli vedi Vincoli, rappresentazione dei
— delle forze vedi Forze, rappresentazione delle
— del riferimento locale vedi Riferimento locale, rappresentazione del
— solida vedi Solida, rappresentazione
— tipo elementi vedi Elementi tipo, rappresentazione degli

Reazioni di incastro perfetto vedi Incastro perfetto, reazioni di
— vincolari C7/6.1
Registra BEAM, voce di menu H3.1
— come, voce di menu G1.1
—, voce di menu G1.1
Registrazione di un documento **G1**
— documento MacBeam **H3**
Requisiti di sistema ***A1***
Reticolari, strutture C2.4
Rettangolare, sezione C7/3.1
Riferimento locale, rappresentazione del D5
—, sistema di *5*, A4.1, C8.1
—, sistema globale di C8.1
—, sistema locale di A13.1, C8.1, ***E1***
Rigel C7.2, **C7/5**
—, uso del C7/5.2
Rigidezza al taglio C7/2.2
— artificiale, vedi Artificiale rigidezza
— assiale, vedi Assiale, rigidezza
—, matrice di *7*, E6
— matrice, fattorizzazione della vedi Fattorizzazione
— torsionale, vedi Torsionale rigidezza
Rigidi, elementi C7/5.1
Rigido, impalcato *11*, A1.2, **H1.3**
—, legame H1.1
Rimozione linee nascoste **D9**
Ripeti, voce di dialogo B4.2
Risposta, coefficiente di E3.1, *B1.1*, *E9.1*
—, storia della E1.1, **E11**
—, spettro di vedi Spettro di risposta
Risultati dell'analisi, lettura G2.1
—, i **F1**

Risultati, menu F1.1
Rivoluzione, generazione per, esempio B4.7
—, superfici di B1.2, **B4.1**
Rosso, colore delle tensioni F7.1
Rotazionale, spostamento C5/6.1
Rotazione A1.1, **A7**
Ruota **A7**

S

Sagomario C7/1.1, C7/2.1, *B1.1*, *B2.2*
—, file *A1.2*
—, formato del file ***B2***
Scala A1.2, A3.1
—, definire la **A3**
—, fattore di F4.2, F5.1, F6.3, F7.2, F8.2
—, voce di dialogo F4.2, F5.2, F6.3, F7.2
Schermo, stampa dello vedi Stampa dello schermo
Scorrimento, barre di A1.1, A7.1
Secondario, nodo C7/5.1, C7/5.2
Secondo ordine, effetti del E1.1, E5.1
Selezionare i pilastri A13.3
Selezionati, contrassegno degli oggetti vedi Contrassegno degli oggetti selezionati
Seleziona tutto, voce di menu A13.2
Selezione di nodi e di elementi **A13**
— per finestra A13.3
Semibanda *E10.1*
—, ampiezza di *E10.1*
—, ottimizzazione di *E10.1*
—, ottimizzazione vedi Ottimizzazione di semibanda
Senza titolo G1.1
Sezioni, lavorare per **A6**
Sforzi, diagramma degli vedi Diagramma degli sforzi

Sforzi, gli **F3**
—, lettura degli F3.1
—, voce di menu F3.1
Sforzo piano C7/7.1
Shrink **D7**
Simmetria radiale C7/10.1
Sismica, analisi ***E8***
— analisi vedi Dinamica, analisi
—, intensità vedi Intensità sismica
—, protezione vedi Protezione sismica
Sistema locale di riferimento vedi Riferimento, sistema locale di
— globale di riferimento vedi Riferimento, sistema globale di
— operativo vedi Operativo, sistema
Slave vedi Master-slave
Smorzamento, fattore di *E8.1*
Snapping A8.2
Solida, rappresentazione **D8**
Sottofondo, coefficiente di C7/4.2, C7/4.3, C9.1, ***D6***
Sottospazio *E7.2*
Spazio di lavoro **A1**
— di lavoro tridimensionale vedi Tridimensionale, spazio
Specifica, massa vedi Massa, densità di
Specifico, peso vedi Densità
Spettrale, accelerazione *E9.1*
Spettro di risposta C10.1, ***E6***, ***E9***
— di risposta, messaggio E3.1
—, formato del file ***B1***
—, nome di file *A1.2*
Spostamenti, gli **F2**
— imposti **C5/6**, C7/6.1
—, lettura degli F2.1
—, rappresentazione degli F4.1

Spostamenti, voce di dialogo C5/6.1
—, voce di menu F2.1
Spostamento assiale C5/6.1
—, componenti di C2.1
—, diagramma dello E4.2
— rotazionale vedi Rotazionale, spostamento
Spostare un nodo **A12**
Sposta, voce di dialogo B4.3
Spread Sheet G4.2
Stabilità, funzioni di E5.1
Stampa dati, voce di menu G4.1
— dei dati **G4**
— dello schermo **G3**
—, formato di G3.1, G4.1
—, modalità di G3.1
— schermo, voce di menu G3.1
Stampe, intestazione delle G4.2
Statica, analisi vedi Analisi statica
—, condensazione vedi Condensazione statica
Statiche, forze equivalenti *E8.3*
Storia della risposta vedi Risposta, storia della
Struttura deformata **F4**
—, geometria della *4*
Strutturale, tipologia *1*
Strutture reticolari vedi Reticolari, strutture
Subspace iteration method E3.1, ***E7.1***
Suolo elastico C7/12.1
Superfici, generazione di vedi Generazione di superfici

T

Taglio, area di vedi Area al taglio
—, diagramma del F6.1
—, rigidezza al vedi Rigidezza al taglio

Taglio, sforzo di F3.2
Tangenziale, modulo di elasticità C9.1, C9.2
—, tensione F3.2
Telai, generazione vedi Generazione telai
Telaio piano *1*
Temperatura costante C5/5.1
—, variazione lineare della C5/5.1
Temporanei, files E1.2
Tensioni equivalenti F8.1
— nelle fibre F3.4
Termica, dilatazione vedi Dilatazione termica
Termico, carico C5.2, **C5/5**
—, voce di dialogo C5/5.1
Testo, file di G4.2
Tipo di elemento vedi Elemento, tipo di
— elementi, rappresentazione del **D6**
Tipi di carico vedi Carico, tipi di
Titolo della finestra F2.1
Torcente, momento F3.2
Torsionale inerzia *D2*
—, inerzia vedi Inerzia torsionale
—, rigidezza C7/6.1
Tracciamento, disabilitazione del vedi Disabilitazione del tracciamento
—, verso di C7/10.1
Tracciare un elemento **A8**
— un nodo A8.1
Trapezoidale, carico C5.2, **C5/3**
Trasla **A7**
Traslazione A1.1, **A7**
Trave continua *1*
— generica C7.1, **C7/2**

Trave rettangolare C7.2, **C7/3**
— Winkler C7.2, **C7/4**
Trazione, tensione di F3.2, F3.4
Triangolazione B1.3, **B6**
—, voce di menu B6.1
Tridimensionale, spazio A1.1
—, struttura *1*
T, simbolo di sforzo di taglio

U

Undo A8.3, A10.1, A12.1, B7.1, H2.1
Uniforme, carico vedi Distribuito, carico
Unità di misura *8*, A3.1, C9.1
Usare la griglia vedi Griglia, usare la

V

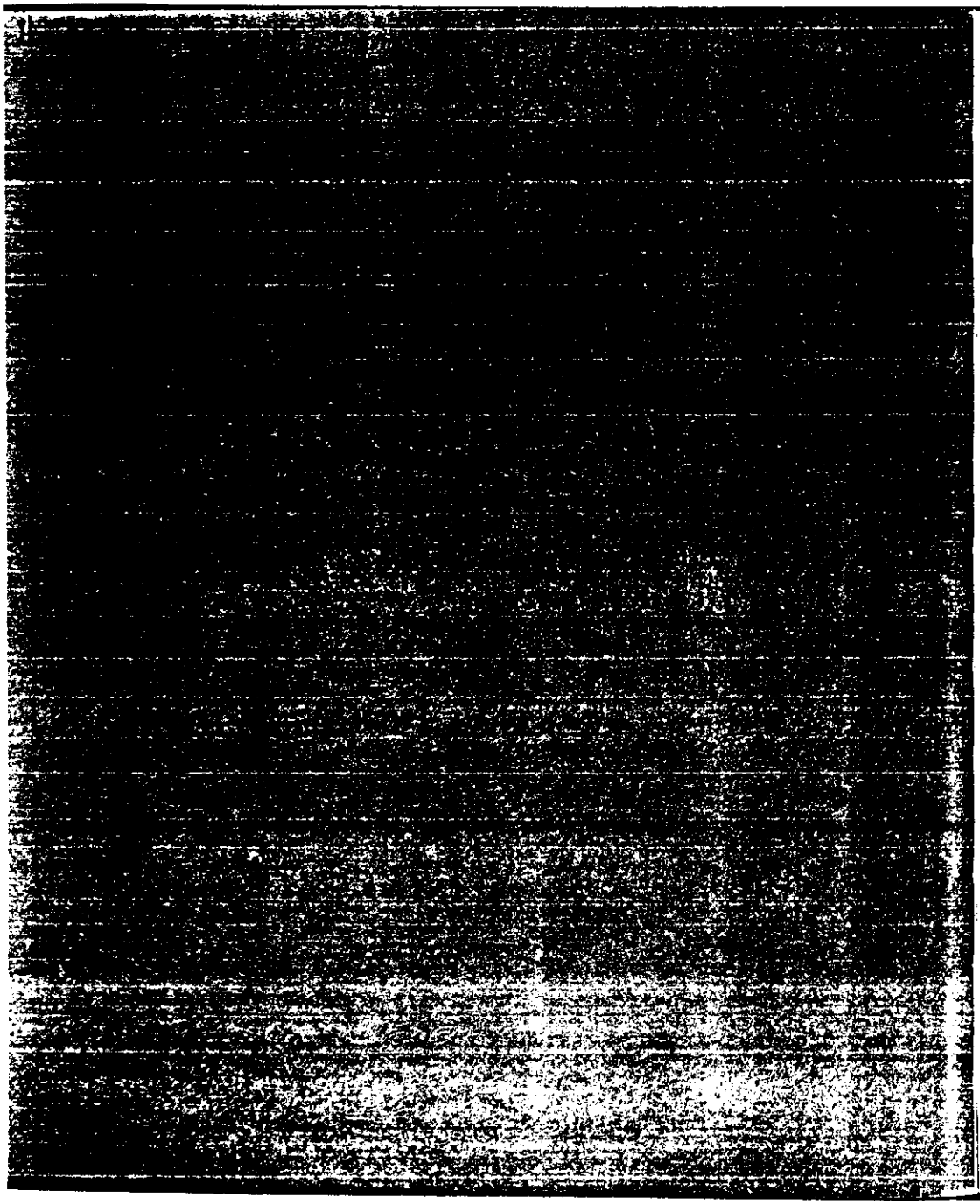
Valori di default, voce di menu C9.1
Valori efficaci vedi Efficaci, valori
Verbo predicato A13.1
Verso di tracciamento vedi Tracciamento, verso di
Verticali elementi, generazione vedi Generazione pilastri
Vibrare, modi di E3.1
Vincoli, esempi di C2.1, C2.2
—, i **C2**
—, icone dei C2.4
— inclinati C7/6.1
— interni C7/2.2, C7/3.2, F4.3
—, rappresentazione dei **D2**
Visita guidata *17*
Vista, punto di A1.1, A7.1
Von Mises, criterio di F8.1
V, simbolo del coefficiente di Poisson

W
Z

Wilson, metodo di *E11.2*

Zoom A1.1, A7
— a finestra A7.1

INTRODUZIONE



Cosa è MacSap

MacSap è un programma per l'analisi di strutture tridimensionali del tutto generali. MacSap non ha limiti di tipologia strutturale o di geometria ed utilizza le tecniche più avanzate di analisi strutturale. Consente l'analisi dalle più semplici strutture edili quali la trave continua ed il telaio piano fino alle più complesse strutture edili in zona sismica intelaiate tridimensionali dotate di nuclei irrigidenti e setti. E ciò senza limitazioni geometriche. MacSap consente anche l'analisi di complesse strutture costituite da elementi bidimensionali: dalle vasche, depuratori, serbatoi fino alle scocche di autoveicoli ed alle parti meccaniche. Nelle applicazioni in campo edile, per le quali MacSap è particolarmente indicato, seppur non è limitato a queste, MacSap può essere integrato da post processori quali MacBeam e CADSap per costituire un ambiente completo di progettazione che si avvale di tutta la potenza e la generalità di MacSap.

MacSap impiega il metodo degli elementi finiti e cioè il più moderno e potente metodo di analisi strutturale. Grazie alla sua evoluta interfaccia utente, MacSap fa sì che la conoscenza di tale metodo non sia necessaria per il normale uso del programma. MacSap effettua l'analisi statica, l'analisi modale, l'analisi dinamica con la tecnica dello spettro di risposta, l'analisi dinamica con la tecnica della storia della risposta, l'analisi non lineare dei telai. MacSap è dotato di una vasta libreria di elementi finiti che consentono di affrontare qualsiasi problema strutturale: asta, trave, trave a sezione rettangolare, boundary, connessione rigida, trave su suolo elastico, deformazione piana, sforzo piano, piastra, guscio, assialsimmetrico, piastra su suolo elastico.

Caratteristica unica di MacSap è la possibilità di disegnare la struttura tridimensionale direttamente a video e di usare tale geometria come chiave di accesso a dati e risultati. Non si devono

usare tabelle di numeri o altri programmi per la modellazione. Con un clic del mouse si assegnano vincoli, carichi, caratteristiche inerziali etc. e si leggono spostamenti e sforzi. Le rappresentazioni grafiche dei risultati, immediate, consentono la valutazione delle deformate, delle forme modali, delle direzioni principali di tensione, delle linee di isosforzo, delle linee delle tensioni di Von Mises.

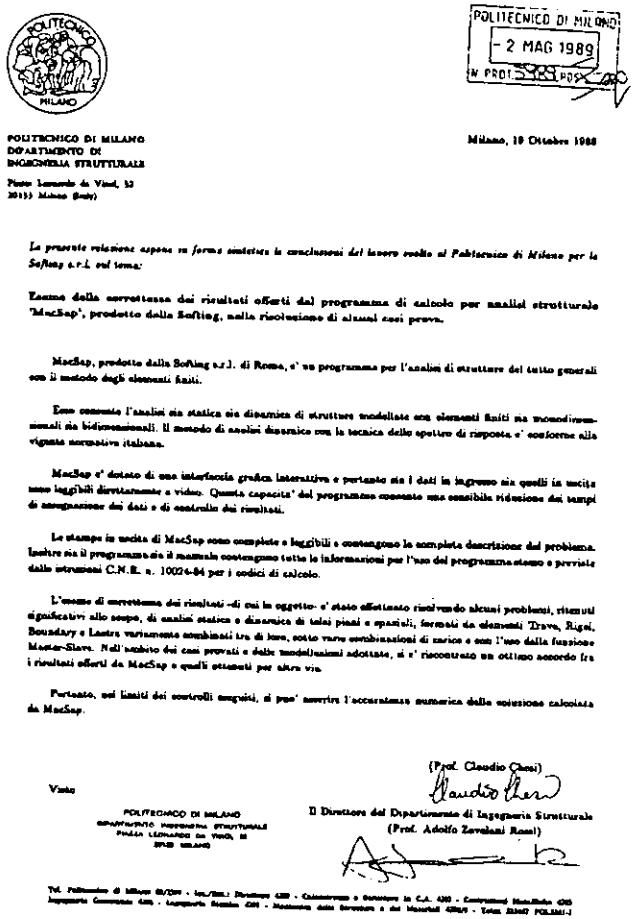
MacSap è distribuito in Europa ed è disponibile, oltre che in lingua italiana, in lingua inglese e francese. Gli utenti MacSap ricevono Floating Point, una pubblicazione trimestrale curata dalla Softing, esclusivamente dedicata ai problemi della progettazione strutturale con elaboratore. La Softing cura corsi bimestrali di modellazione strutturale ed organizza una conferenza annuale degli utenti MacSap.

MacSap è l'unico programma di analisi strutturale verificato dal Politecnico di Milano che ne ha asserito l'accuratezza numerica dei risultati.

MacSap è nato da un accordo con la Apple Computer S.p.A. nel 1983 ed è stato oggetto di due successivi accordi con la Apple Computer S.p.A. che ne hanno garantito la crescita ed il raggiungimento dell'attuale livello qualitativo.

> ✻ MacSap, come qualsiasi programma, manca di intelligenza. Deve essere quindi cura dell'utente di modellare correttamente la struttura e di assumersi la responsabilità dei risultati.

Attestato del Politecnico di Milano



POLITECNICO DI MILANO
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA STRUTTURALE
Piazza Leonardo da Vinci, 32
20133 Milano (Italy)

POLITECNICO DI MILANO
- 2 MAG 1989
N. PROT. [illegible] POS. [illegible]

Milano, 19 Ottobre 1988

La presente relazione espone in forma sintetica le conclusioni del lavoro svolto al Politecnico di Milano per la Softing s.r.l. sul tema:

Esame della correttezza dei risultati offerti dal programma di calcolo per analisi strutturale 'MacSap', prodotto dalla Softing, nella risoluzione di alcuni casi prova.

MacSap, prodotto dalla Softing s.r.l. di Roma, e' un programma per l'analisi di strutture del tutto generali con il metodo degli elementi finiti.

Esso consente l'analisi sia statica sia dinamica di strutture modellate con elementi finiti sia monodimensionali sia bidimensionali. Il metodo di analisi dinamica con la tecnica dello spettro di risposta e' conforme alla vigente normativa italiana.

MacSap e' dotato di una interfaccia grafica interattiva e pertanto sia i dati in ingresso sia quelli in uscita sono leggibili direttamente a video. Questa capacita' del programma consente una sensibile riduzione dei tempi di assegnazione dei dati e di controllo dei risultati.

Le stampe in uscita di MacSap sono complete e leggibili e contengono la completa descrizione del problema. Inoltre sia il programma sia il manuale contengono tutte le informazioni per l'uso del programma stesso e previste dalle istruzioni C.N.R. n. 10024-84 per i codici di calcolo.

L'esame di correttezza dei risultati -di cui in oggetto- e' stato effettuato risolvendo alcuni problemi, ritenuti significativi allo scopo, di analisi statica e dinamica di telai piani e spaziali, formati da elementi Trave, Rigel, Boundary e Lastra variamente combinati tra di loro, sotto varie combinazioni di carico e con l'uso della funzione Master-Slave. Nell'ambito dei casi provati e delle modellazioni adottate, si e' riscontrato un ottimo accordo fra i risultati offerti da MacSap e quelli ottenuti per altra via.

Pertanto, nei limiti dei controlli eseguiti, si puo' asserire l'accuratezza numerica della soluzione calcolata da MacSap.

(Prof. Claudio Chesi)

Visto

POLITECNICO DI MILANO
DIPARTIMENTO INGEGNERIA STRUTTURALE
PIAZZA LEONARDO DA VINCI, 32
20133 MILANO

Il Direttore del Dipartimento di Ingegneria Strutturale
(Prof. Adolfo Zavelani Rossi)

Tel. Politecnico di Milano [illegible] - Ins./Dir.: Direttore [illegible] - Calcolatrice e Dattilografia in C.A. [illegible] - Costruzioni Metalliche [illegible] Ingegneria Geometrica [illegible] - Ingegneria Sismica [illegible] - Meccanica delle Strutture e dei Materiali [illegible] - Telex [illegible] POLIMI-I

L'analisi di una struttura richiede che della struttura si faccia un modello e cioè si idealizzi la struttura reale. Due operazioni fondamentali della modellazione sono la descrizione della geometria della struttura e l'assegnazione, agli elementi così definiti, delle caratteristiche statiche e di carico.

L'interfaccia grafica interattiva di MacSap consente di fare entrambe queste operazioni direttamente operando con il calcolatore in modo grafico.

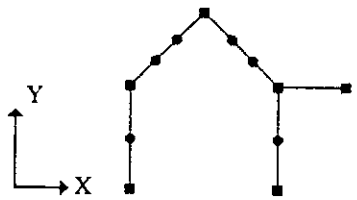
Qui di seguito si richiamano alcuni concetti ed alcuni termini.

Nodi ed elementi

La definizione fondamentale della geometria della struttura viene effettuata piazzando dei nodi, o punti nodali, sulla struttura. La geometria è completata congiungendo questi nodi predefiniti con elementi del tipo voluto come trave, asta, piastra e così via.

Bisogna tener presente alcune considerazioni nel posizionare i nodi sulla struttura.
Il numero dei nodi deve essere sufficiente a descrivere la geometria della struttura.

posizionamento dei nodi



- Nodi necessari per la definizione geometrica
- Nodi opzionali per la lettura degli spostamenti

Il minimo numero di nodi necessari per questa struttura è 6.

I nodi devono essere posizionati anche nei punti e sulle linee di discontinuità. Ad esempio dove cambiano le caratteristiche dei materiali, le caratteristiche delle sezioni e così via.

E' necessario posizionare i nodi anche nei punti dove si vogliono valutare gli spostamenti o gli sforzi.

Si devono posizionare i nodi anche dove si vogliono applicare delle forze o delle masse nodali.

La suddivisione in elementi finiti bidimensionali deve essere sufficientemente fitta per cogliere le variazioni di sforzo o di spostamento nelle regioni importanti ai fini dell'analisi.

Si devono mettere dei nodi in tutti i punti che si intedono vincolare.

Le condizioni di vincolo sono simulate nella struttura impedendo lo spostamento dei nodi voluti nelle direzioni volute.

I carichi possono essere applicati alla struttura sia come forze concentrate agenti su specifici nodi sia come carichi (inclusi i carichi termici) agenti sugli elementi.

Sistemi di riferimento globale e locale

Tutti i dati ed i risultati associati ai nodi vengono riferiti ad un sistema tridimensionale di coordinate cartesiane destrorso. Questo sistema di riferimento è detto *sistema di riferimento globale*.

I dati che vengono riferiti al sistema globale sono: le coordinate dei nodi, i vincoli e le forze e le masse nodali.

I risultati che vengono espressi nel riferimento globale sono gli spostamenti dei nodi.

I dati associati agli elementi sono riferiti ad un sistema tridimensionale di coordinate cartesiane destrorso. Questo sistema di coordinate differisce per ogni elemento ed è detto *sistema di riferimento locale*.

I dati che vengono assegnati con riferimento al sistema di coordinate locale sono: le caratteristiche delle sezioni degli elementi, i carichi sugli elementi.

I risultati che vengono riferiti al sistema locale di riferimento sono gli sforzi negli elementi.

Gradi di libertà

Ogni nodo di un modello strutturale tridimensionale ha sei componenti di spostamento. Cioè il nodo può traslare nelle direzioni globali X, Y e Z e può ruotare intorno agli assi globali X, Y e Z. Le direzioni associate a queste sei componenti di spostamento sono dette *gradi di libertà* del nodo.

Se lo spostamento di un nodo lungo uno qualsiasi dei suoi sei gradi di libertà è noto essere nullo, come nel caso di un vincolo, quel grado di libertà si dice *vincolato*. I gradi di libertà invece per i quali gli spostamenti non sono noti sono detti gradi di libertà *liberi*.

In generale si può dire che, secondo il metodo detto degli spostamenti, lo spostamento di un grado di libertà libero non è noto mentre è noto il carico applicato, anche nullo. Lo scopo dell'analisi è quello di trovare il corrispondente spostamento.

Ogni grado di libertà libero della struttura è associato ad una equazione. Se vi sono *n* gradi di libertà vi saranno *n* equazioni nel sistema e la matrice di rigidezza della struttura si dirà di ordine *n*.

Se vi sono dei gradi di libertà ai quali non è associata alcuna rigidezza, come nel caso degli spostamenti fuori del piano nell'analisi piana di un sistema piano, questi gradi di libertà devono essere vincolati in quanto aumentano inutilmente il numero di equazioni del sistema introducendo delle componenti nulle nell'analisi.

Vi sono anche dei gradi di libertà ai quali non è associata alcuna rigidezza in quanto l'elemento connesso a quel nodo non ha rigidezza per quei gradi di libertà. Ciò dipende dal tipo di elemento.

Ad esempio l'elemento Trave ha rigidezza per tutti e sei i gradi di libertà mentre l'elemento Asta ha rigidezza solo per le tre traslazioni ma non ha rigidezza per le tre rotazioni. Questi gradi di libertà a cui non è associata alcuna rigidezza devono essere vincolati.

Condizioni di carico

MacSap esegue l'analisi contemporaneamente per 4 condizioni di carico indipendenti. Non si devono confondere le condizioni di carico con le combinazioni di carico. MacSap demanda ai suoi post processori l'operazione di combinare le condizioni di carico indipendenti in quanto esse vengono combinate secondo le esigenze tecniche e di normativa proprie di quel tipo di post elaborazione.

Unità di misura

In MacSap non vi sono unità di misura prefissate. Si possono usare le unità di misura che si preferiscono purché esse siano consistenti. I risultati forniti dal programma saranno quindi conformi alle unità di misura usate per l'assegnazione dei dati.

Per fare un esempio, se l'utente decide di usare centimetri, chilogrammi e secondi come unità di misura, dovrà sempre usare i centimetri per le lunghezze ed i chilogrammi per le forze. Le caratteristiche dei materiali saranno anch'esse conformi a queste unità. Così il modulo di elasticità sarà in kg/cm^2. I risultati saranno in chilogrammi, ad esempio, per gli sforzi assiali, ed in kg x cm per i momenti flettenti. Gli spostamenti saranno in centimetri. Le rotazioni, qualunque siano le unità di misura impiegate, saranno sempre in radianti. Le masse saranno anch'esse in chilogrammi massa ricordando che se si vuole convertire una forza nella massa corrispondente occorre dividere la sua intensità per l'accelerazione di gravità. Anche l'accelerazione di gravità dovrà essere nelle unità di misura consistenti e quindi, in questo esempio, in cm/sec^2 e cioè circa 981 cm/sec^2.

Precisione

Il solutore di MacSap controlla la precisione del calcolo durante il suo svolgimento dando un messaggio di errore qualora la precisione di calcolo sia inferiore a quella prefissata. La precisione prefissata è automaticamente calcolata in base alla precisione della macchina, al numero di bit impiegati per rappresentare il numero ed all'ordine di grandezza dei termini della matrice di rigidezza. Questi valori vengono forniti in stampa per valutare la qualità della soluzione.

Tipi di elementi

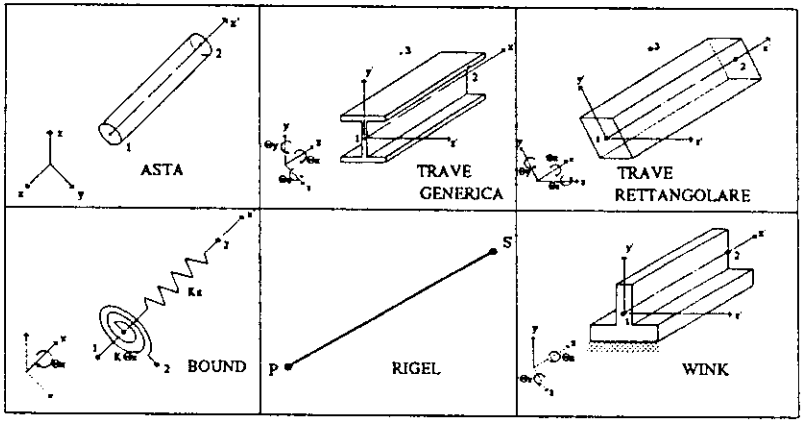
MacSap è dotato di elementi monodimensionali e bidimensionali tutti utilizzabili nello spazio tridimensionale e compatibili tra loro.

Elementi monodimensionali (a 2 nodi).

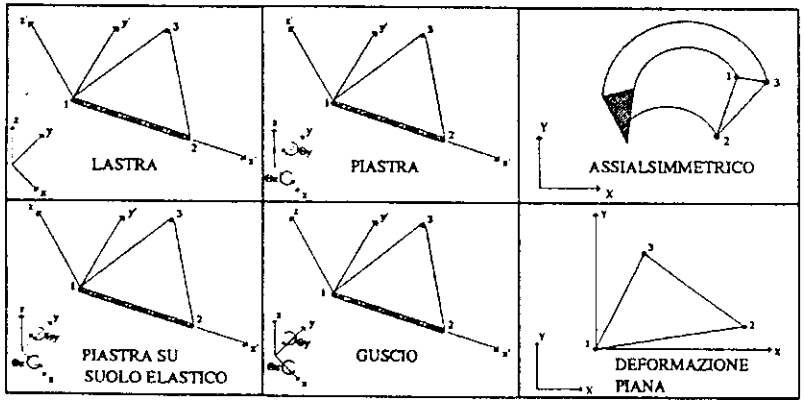
Asta - Strutture reticolari
Trave a sezione generica - Strutture intelaiate
Trave a sezione rettangolare - Strutture intelaiate
Boundary - Molla assiale e torsionale
Rigel - Connessione infinitamente rigida
Trave Winkler - Trave su suolo elastico

Elementi bidimensionali (sia a 3 che a 4 nodi)

Lastra - Sforzi piani di tensione
Piastra - Elementi inflessi
Guscio - Elementi inflessi con associati stati tensionali membranali
Assialsimmetrico - Strutture con simmetria radiale
Deformazione piana - Stati di deformazione piana
Piastra Winkler - Elemento guscio su terreno elastico.



Elementi monodimensionali



Elementi bidimensionali

Impalcati rigidi

La rigidezza nel proprio piano della maggior parte dei solai in cemento armato è generalmente molto elevata. MacSap consente di modellare direttamente questi diaframmi rigidi. Questo metodo, detto Master-Slave, consente di modellare qualsiasi parte infinitamente rigida della struttura ma qui ci limiteremo ad accennare al caso più frequente di impalcati orizzontali.

Un impalcato è modellato come un piano rigido orizzontale parallelo al piano globale XY così che tutti i punti di tale diaframma rigido non possono avere spostamenti relativi l'uno all'altro nel piano XY.

Ogni diaframma ha un nodo, detto nodo Master. Questo nodo può in genere essere posizionato arbitrariamente. Tutti gli altri nodi del diaframma, detti nodi Slave, vengono rigidamente connessi al nodo master.

Questa opzione del programma è molto utile per diminuire il numero di equazioni del problema e per evitare problemi di accuratezza numerica che nascono usando elementi lastra molto rigidi per modellare l'impalcato.

Il metodo Master-Slave si può impiegare solo con elementi Trave.

Nel caso dell'analisi dinamica, il nodo master va posto in posizione baricentrica. Le masse ed i momenti di inerzia saranno anch'essi baricentrici riducendo così considerevolmente il problema del calcolo dei modi propri di vibrare.

Metodi di analisi

I metodi di analisi disponibili in MacSap sono i seguenti:

Analisi statica
Analisi modale
Analisi con la tecnica dello spettro di risposta (Analisi sismica)
Analisi con la tecnica della storia della risposta
Analisi non lineare di telai (Solo MacSap V NL)

Il criterio informatore di MacSap è quello di consentire di compiere qualsiasi operazione sul modello della struttura sempre restando nello stesso ambiente operativo e cioè di consentire l'esecuzione delle operazioni fondamentali dell'analisi strutturale senza dover usare differenti programmi o differenti moduli dello stesso programma.

Il motivo di questa scelta risiede nella necessità di ridurre al massimo l'impegno del progettista. L'interfaccia grafica interattiva consente di ridurre i tempi per l'assegnazione dei dati e la valutazione dei risultati. Ma consente anche di ridurre, operando con metodi che sono familiari al progettista, e cioè su rappresentazioni grafiche, le possibilità di errore e la stanchezza immancabilmente conseguente un lungo periodo di applicazione su dati soltanto numerici al calcolatore.

MacSap cioè non mette soltanto a disposizione dell'utilizzatore delle funzioni grafiche o dei comandi selezionabili da menu invece che tramite comandi letterali. MacSap fà di più. Infatti MacSap consente di operare in modo del tutto nuovo sullo stesso modello della struttura dal primo momento in cui il modello viene concepito e tracciato al momento finale in cui vengono esaminati i risultati dell'analisi.

Le operazioni fondamentali necessarie per rendere possibile e pratico un ambiente di lavoro di questo tipo sono di tipo grafico tridimensionale. Infatti la chiave del successo di questo modo di operare è quello di consentire di interloquire con il modello strutturale con la massima facilità.

Con interloquire si intedono fondamentalmente quattro differenti operazioni:

- Tracciamento grafico di un oggetto nelle tre dimensioni.
- Assegnazione a qualsiasi oggetto grafico di caratteristiche numeriche.
- Interrogazione del modello per conoscere sia i dati che i risultati ad esso associati.
- Differenti modi di rappresentazione del modello al fine di rappresentare, sempre graficamente, alcune sue caratteristiche quali il modello deformato o i diagrammi di certi valori, o il modello solido ombreggiato.

Per poter operare con la massima sicurezza il modello deve essere rappresentato sempre nella stessa *finestra* e non tramite finestre multiple che riportino differenti proiezioni ortogonali del modello. Ciò è fondamentale perché la ricostruzione del modello tridimensionale tramite più proiezioni è una operazione astratta che richiede una ricostruzione mentale di nessuna immediatezza.

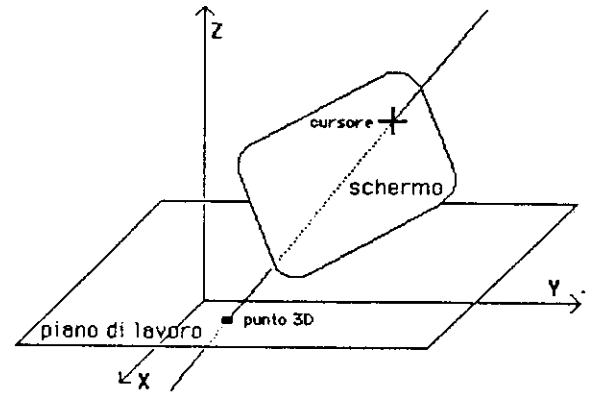
Dunque il modello deve essere rappresentato in una unica proiezione assonometrica dando all'utente la massima facilità di ruotare l'oggetto, ingrandirlo o traslarlo. In questo modo è facile ricordare la posizione delle varie parti del modello perché l'operazione che si compie è esattamente quella che viene compiuta nella realtà quando si gira intorno ad un oggetto.

Avendo un oggetto in proiezione assonometrica ad ogni nodo corrisponde una semiretta che va dal nodo al punto di proiezione. Pertanto se poniamo il cursore del mouse sul punto dello schermo che intercetta questa semiretta possiamo identificare tutte le semirette uscenti dai nodi e quindi tutti i nodi del modello. E tutto ciò nonostante la struttura sia tridimensionale.

Quindi si vede subito il vantaggio di operare su un'unica proiezione assonometrica.

Diverso è il problema del tracciamento. Abbiamo infatti visto che ad un nodo corrisponde una semiretta nello spazio e quindi alla posizione del cursore del mouse non corrisponde un unico punto nello spazio tridimensionale. Per superare il problema MacSap impiega una tecnica del tutto innovativa.

Metodo del piano di lavoro



Infatti posizionando nello spazio tridimensionale un piano, si determinerà una intersezione tra la semiretta uscente dal punto del cursore del mouse ed il piano. Il punto sarà determinato nel piano e quindi nello spazio in cui il piano è posizionato in modo noto. Questa tecnica oltre tutto ha il vantaggio di ricondurre il problema ad un problema di disegno su un piano, anche se immerso in uno spazio tridimensionale, e quindi ad una tecnica ben nota che non causa incertezze.

MacSap consente di scegliere tre orientamenti dei piani di lavoro. E cioè i piani paralelli a quelli coordinati: i piani XY, XZ, YZ.

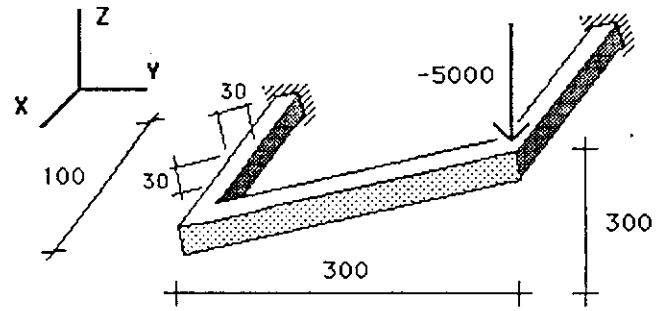
Questi piani possono essere spostati parallelamente a se stessi e posizionati a qualsiasi quota. Avendo questa possibilità è possibile con la massima facilità tracciare un nodo nello spazio tridimensionale.

Definiti i nodi nelle tre dimensioni, essi possono essere immediatamente connessi in quanto l'indeterminazione non sussiste più. In genere, comunque, si possono direttamente tracciare gli elementi sui piani di lavoro evitando di dividere il lavoro in posizionamento dei nodi e connessione con elementi. Infatti le *primitive grafiche* tridimensionali di cui MacSap è dotato consentono il tracciamento diretto di elementi a 2, 3 e 4 nodi.

Per comprendere i concetti operativi di MacSap è opportuno fare insieme una visita alle funzioni di MacSap. Lo faremo prendendo come scopo l'analisi di una semplicissima struttura. Lo scopo di questa visita è quello di familiarizzare con il programma e di comprenderne a pieno tutta la potenza. Naturalmente tutti i comandi e gli aspetti teorici sono diffusamente trattati più avanti.

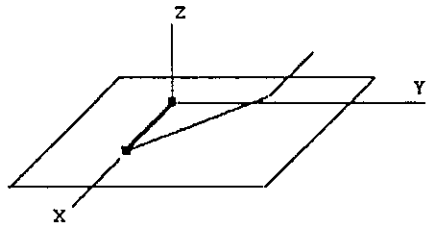
Analizziamo la semplice mensola tridimensionale descritta nella figura seguente. Le unità di misura che useremo saranno il centimetro ed il chilogrammo.

La struttura dell'esempio



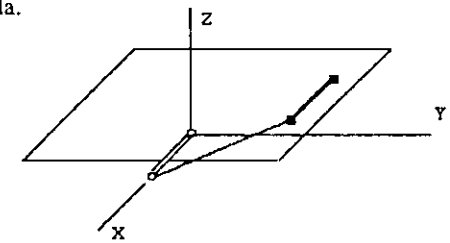
Con MacSap disegnamo direttamente la struttura.

La nostra mensola, benché molto semplice, è una struttura tridimensionale. Per disegnarla dobbiamo ricorrere alla tecnica dei piani di lavoro che ci consente di tracciare i nodi e gli elementi con facilità nello spazio tridimensionale.
Possiamo operare come preferiamo. Non vi sono scelte predefinite. Una delle scelte più intuitive è quella di utilizzare un piano orizzontale (parallelo al piano XY) posizionato a quota zero e di tracciare il primo braccio della mensola.



piano XY a quota 0

Ciò fatto potremo spostare il piano alla quota del secondo braccio, e cioè a quota 300, e quindi tracciare il secondo braccio della mensola.



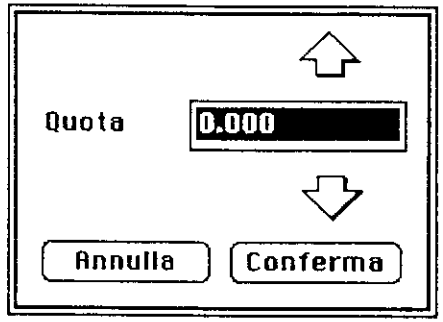
piano XY a quota 300

A questo punto potremo congiungere direttamente i due nodi terminali dei due bracci per ottenere il disegno dell'elemento di collegamento.

Vediamo ora come procedere usando i comandi di MacSap.

Per selezionare il piano di lavoro XY facciamo clic sull'icona relativa.

Per assegnare la quota del piano di lavoro, facciamo un doppio clic sull'icona del piano già selezionata. Apparirà una finestra di dialogo per l'assegnazione della quota voluta.

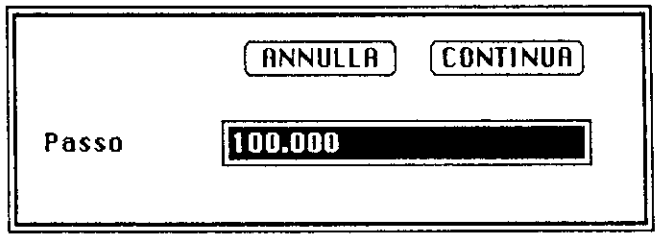


Dialogo per l'assegnazione della quota del piano di lavoro

Per tracciare con facilità e precisione faremo uso della griglia la quale constringe il cursore a posizionarsi nel più vicino punto di un reticolo virtuale di punti.

Per attivare la griglia basta selezionare l'icona corrispondente.

Per assegnare il passo del reticolo virtuale di punti facciamo un doppio clic sull'icona della griglia ed assegnamo il passo voluto nella finestra di dialogo.



Dialogo per l'assegnazione del passo della griglia

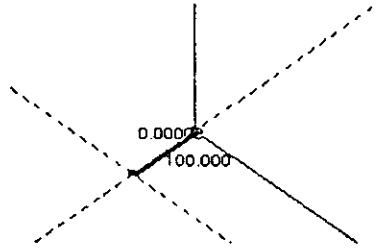
Per poter tracciare un nodo o un elemento dobbiamo attivare la funzione di tracciamento.

Attiviamo l'opzione di tracciamento dell'elemento a due nodi facendo clic sull'icona corrispondente.

Naturalmente se faremo un errore potremo usare l'opzione **Undo** oppure attivare l'opzione Gomma e quindi cancellare l'elemento sbagliato semplicemente con un clic.

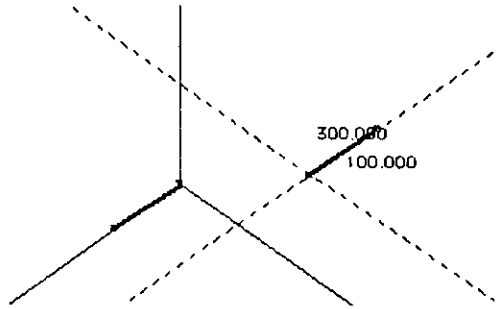
Ora tracciamo il primo elemento della mensola. Ci sarà utile riferirci alle coordinate che seguono il cursore del mouse e che si riferiscono al piano di lavoro.

Portiamo il cursore del mouse nel punto di coordinate [0;0]. Premiamo il tasto del mouse e, tenendolo premuto, portiamoci sulla posizione [100;0]. Rilasciamo il tasto del mouse. Avremo tracciato due nodi connessi da un elemento monodimensionale.



Tracciamento del braccio della mensola a quota 0.0

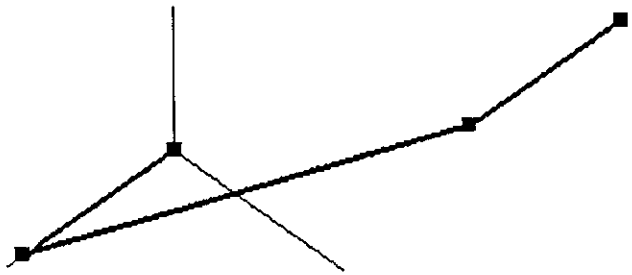
Posizioniamo ora il piano di lavoro a quota 300 con le stesse modalità usate in precedenza.
Tracciamo quindi il segmento che va dal punto di coordinate [0;300] a quello di coordinate [100;300].



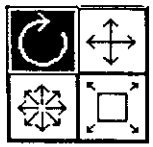
Tracciamento del braccio della mensola a quota 300.0

Ora non ci resta che unire i nodi più esterni con l'elemento diagonale. Per fare questo non abbiamo bisogno di usare il piano di lavoro. Infatti i nodi sono già posizionati e la connessione non presenta indeterminazioni. MacSap riconosce i nodi e li connette. Nel far questo usa lo snapping e cioè si aggancia al nodo automaticamente: ciò evita errori e perdita di precisione nelle connessioni.
Per connettere i due nodi disattiviamo la griglia. Posizioniamo il cursore su uno dei due nodi. Premiamo il tasto del mouse e, tenendolo premuto, portiamo il cursore in corrispondenza del secondo nodo. Rilasciamo il tasto del mouse.

Con estrema facilità abbiamo generato il nostro modello geometrico.



Possiamo vedere il modello da ogni punto di vista.



Possiamo ruotare il punto di vista attivando l'icona corrispondente ed agendo sulle barre dei cursori. Oppure potremo ingrandire il modello tramite la funzione di zoom. Oppure usare lo zoom a finestra o infine avere una panoramica (autoscale) che dimensiona automaticamente il modello affinché sia completamente contenuto nello schermo.

Non ci soffermiamo qui sulle funzioni che generano automaticamente gli elementi o sulle altre funzioni legate alla generazione.

La geometria come chiave di accesso ai dati.

Ora vedremo come possiamo usare la geometria come chiave di accesso ai dati.

Quando vogliamo assegnare dei dati o leggere dei risultati relativi ad un nodo o ad un elemento, dobbiamo indicarlo al programma. Per far ciò dobbiamo selezionarlo.

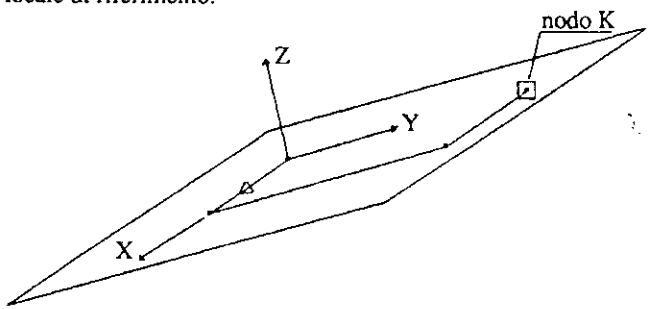
Per selezionare un nodo o un elemento dobbiamo semplicemente puntarlo con il cursore e fare clic, cioè premere e rilasciare il tasto del mouse. Se dobbiamo assegnare gli stessi valori a più elementi è inutile ripetere la stessa operazione più volte. MacSap consente di selezionare più elementi contemporaneamente. Per fare ciò è sufficiente tenere premuto il tasto delle maiuscole e selezionare i nodi voluti. Possiamo anche selezionare più nodi o elementi con la selezione tramite rettangolo. Basterà premere il tasto del mouse nel punto voluto, spostare il mouse per tracciare un rettangolo e rilasciare il tasto del mouse quando con il rettangolo abbiamo racchiuso gli elementi o i nodi voluti. Infine se vogliamo selezionare tutti gli elementi o i nodi che compongono la struttura, potremo farlo tramite l'opzione **Seleziona tutto** dal menu **Edit**.

Ora dobbiamo pensare a come gli elementi della mensola sono orientati nello spazio tridimensionale. Abbiamo notato dal disegno della mensola che i bracci della mensola hanno una sezione quadrata i cui lati sono allineati all'elemento di collegamento.

Quindi i lati della sezione sono inclinati, così come lo è l'elemento di collegamento, rispetto al sistema di riferimento globale.
MacSap ha un orientamento di difetto, o di default, del sistema di riferimento locale degli elementi rispetto a quello globale. Pertanto nella gran parte dei casi non è necessario dare ulteriori informazioni.

L'orientamento di difetto prevede che l'asse locale y sia, nel caso delle travi, contenuto in un piano verticale. Questo orientamento è accettabile per l'elemento di collegamento ma non lo è per i bracci della mensola. In questo caso infatti i lati della sezione sono ruotati.

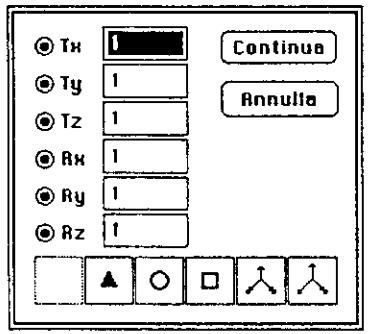
Per indicare al programma qual'è l'orientamento del sistema locale di riferimento e quindi l'orientamento dei lati della sezione, si deve indicare un nodo che determini, insieme all'asse dell'elemento, la direzione dell'asse locale y. Questa tecnica viene detta del nodo K e con MacSap è una operazione molto semplice. Attiviamo la voce **K Nodo** del menu **Assegnazioni**. Selezioniamo l'elemento voluto e quindi il nodo di riferimento. Il programma provvederà automaticamente ad individuare il sistema locale di riferimento.



Nel nostro caso selezioniamo un braccio della mensola e quindi il nodo del braccio opposto: avremo così allineato il sistema di riferimento ai lati della sezione del braccio. Altrettanto facciamo con l'altro braccio della mensola. Questa operazione, come dicevamo non sempre necessaria, mostra tutta la potenza di MacSap nell'affrontare qualsiasi situazione e nel farlo nel modo più semplice.

Assegnamo ora i vincoli alla nostra mensola. Per fare ciò attiviamo la voce **Vincoli** dal menu **Assegnazioni**. Selezioniamo i due nodi che dobbiamo vincolare. I due nodi sono vincolati con un incastro al piano YZ e quindi dovremo vincolare tutti e sei i gradi di libertà di questi nodi.

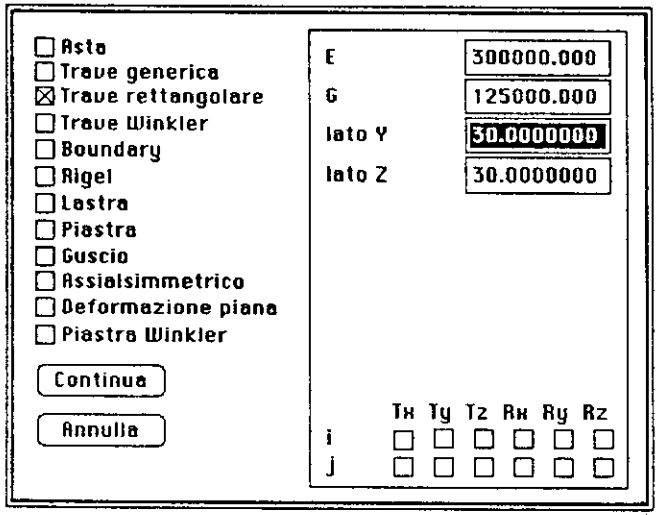
Appena selezionati i nodi, si aprirà immediatamente una finestra di dialogo che ci consentirà di assegnare il vincolo. Nel nostro caso il vincolo è un incastro e quindi tutti i gradi di libertà del nodo sono vincolati. Per fare ciò assegnamo un 1 in corrispondenza di ogni grado di libertà. Infatti 0 significa grado di libertà libero, 1 significa vincolato.



Dialogo per l'assegnazione dei vincoli

Assegnamo ora le caratteristiche degli elementi. Attiviamo dal menu **Assegnazioni** l'opzione **Elementi**. Poiché nel nostro caso tutti gli elementi hanno le stesse caratteristiche potremo fare una selezione totale tramite l'opzione **Seleziona tutto** del menu **Edit**. Si aprirà la finestra di dialogo che ci consentirà di assegnare le caratteristiche degli elementi. Scegliamo l'elemento finito Trave rettangolare e quindi assegnamo i dati numerici nella finestra di dialogo.

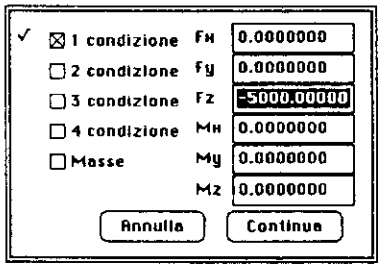
Dialogo per l'assegnazione delle caratteristiche degli elementi



Non ci resta ora che assegnare la forza agente su un nodo della mensola.

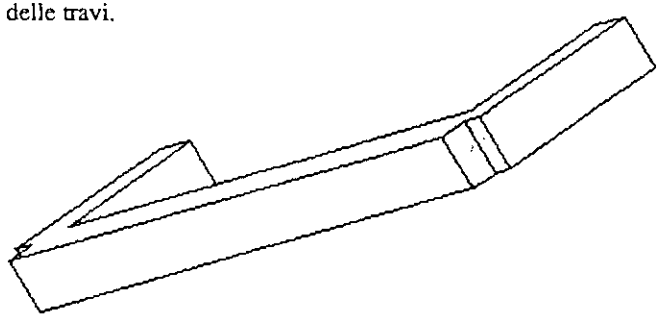
Attiviamo l'opzione **Forze** dal menu **Assegnazioni** e selezioniamo il nodo a cui la forza deve essere applicata. Quindi scegliamo, nella finestra di dialogo che si è subito aperta, la prima condizione di carico e quindi assegnamo il segno e l'intensità della forza.

Dialogo per l'assegnazione delle forze



Per un controllo immediato grafico dei dati è possibile usare le funzioni disponibili tramite l'opzione **Mostra dati** del menu **Funzioni**. Ad esempio la rappresentazione solida con rimozione ci consente di controllare il posizionamento e le dimensioni delle travi.

Il modello solido della mensola



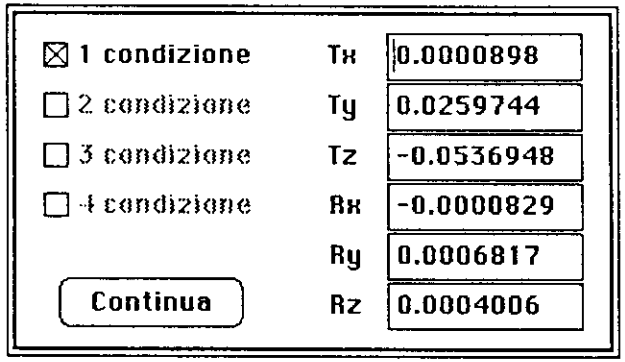
Assegnati così tutti i dati della struttura, è possibile effettuare subito l'analisi.

Attiviamo l'opzione **Analisi statica** dal menu **Analisi**. Durante l'esecuzione dell'analisi verranno mostrati dei messaggi che indicheranno come procede il calcolo. In caso di errore una vasta diagnostica indicherà l'errore che si è commesso.

Effettuata l'analisi potremo vedere direttamente a schermo i risultati.

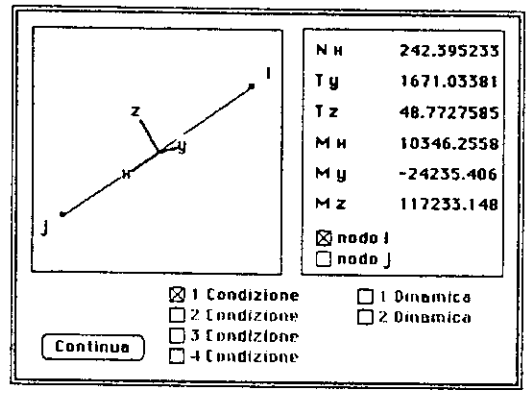
Per conoscere il valore numerico degli spostamenti nodali, attivare l'opzione **Spostamenti** dal menu **Risultati** e quindi selezionare il nodo voluto.

Dialogo per la lettura degli spostamenti



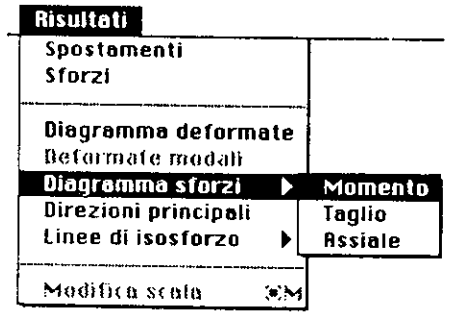
Per conoscere gli sforzi negli elementi, selezionare l'opzione **Sforzi** dal menu **Risultati** e quindi l'elemento voluto. Gli sforzi sono nel riferimento locale dell'elemento. MacSap rappresenta nella finestra di dialogo anche l'elemento ed il suo sistema di riferimento locale.

Dialogo per la lettura degli sforzi



MacSap consente l'immediata rappresentazione dei risultati in modo grafico.

Menu per la rappresentazione dei risultati



MacSap consente l'immediata rappresentazione dei risultati in modo grafico. Per rappresentare la struttura deformata selezioniamo **Diagramma deformate** dal menu **Risultati**.
Assegnamo la scala di rappresentazione delle deformate, ovvero il fattore in cui le deformate vengono amplificate rispetto ai valori reali per essere meglio rappresentate. Assegnamo ancora i coefficienti moltiplicativi per ogni condizione di carico.

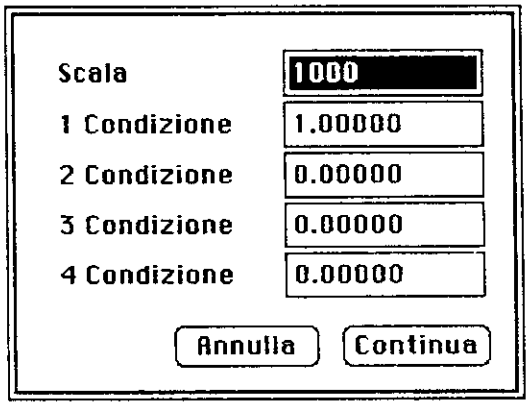
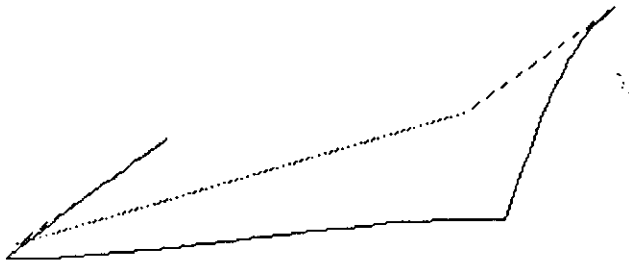


Diagramma per l'assegnazione della scala di rappresentazione

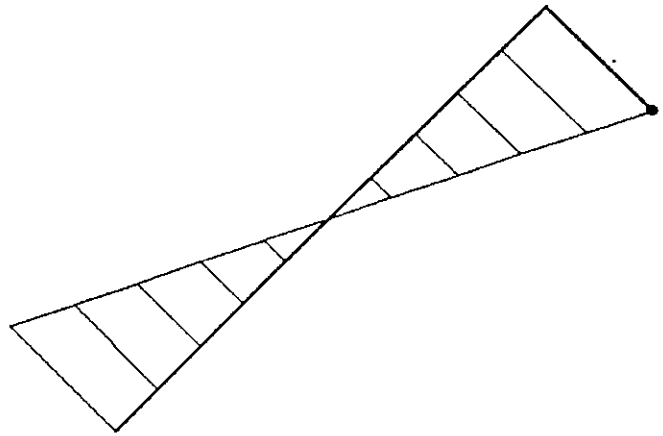


La deformata della mensola

Il diagramma degli sforzi (momento flettente, taglio e sforzo assiale) si ottiene attivando la voce **Diagramma sforzi** dal menu **Risultati**.

La rappresentazione degli sforzi avviene solo in sezione e cioè facendo coincidere il piano di lavoro con il piano dello schermo. Per attivare questa possibilità è sufficiente selezionare l'apposita icona e quindi posizionare il piano di lavoro come abbiamo già fatto in precedenza.

Naturalmente possiamo ruotare, ingrandire, stampare i diagrammi esattamente nello stesso modo con il quale operiamo sulla geometria.



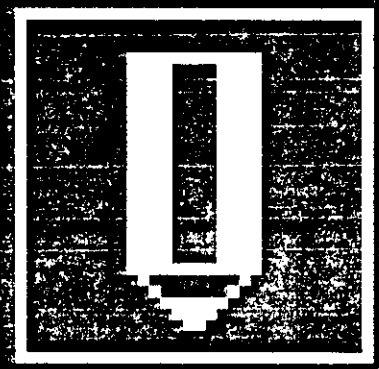
Il momento flettente nella mensola

MacSap va oltre l'interattività.

Questa breve visita guidata non vuol essere un'illustrazione delle possibilità di MacSap, che vanno ben oltre quelle illustrate, ma della filosofia di MacSap. Speriamo di aver saputo illustrare come tutte le operazioni per analizzare una struttura, forse sarebbe meglio dire capirla, sono racchiuse in un unico ambiente di lavoro.

Immaginiamo che, in base alla lettura a video degli sforzi, riteniamo che uno dei bracci della mensola non sia correttamente dimensionato. Che fare? Basta attivare l'opzione **Elementi**, fare clic sull'elemento voluto, cambiare la sezione e fare una nuova analisi. Si fà prima a farlo che a dirlo. Ed il tempo che si risparmia non è tutto. Infatti rimanendo in uno stesso ambiente di lavoro, davanti alla stessa immagine, sempre con le stesse modalità operative non ci si stanca. E quindi anche gli errori di distrazione diminuiscono. E la produttività aumenta e diviene più piacevole. Questa è la filosofia, assolutamente nuova ed esclusiva, di MacSap.

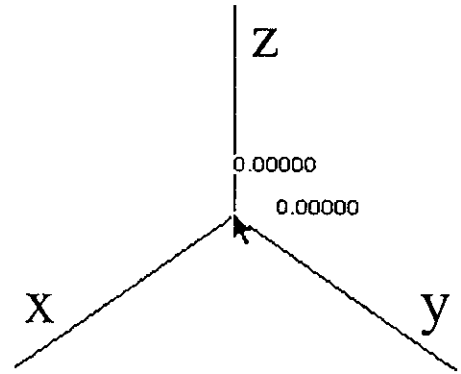
Sezione A
IL DISEGNO

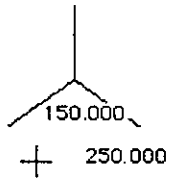


Lo spazio di lavoro

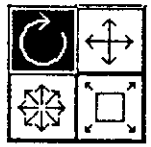
MacSap consente di descrivere completamente una struttura nello spazio tridimensionale.

Lo spazio tridimensionale in proiezione assonometrica





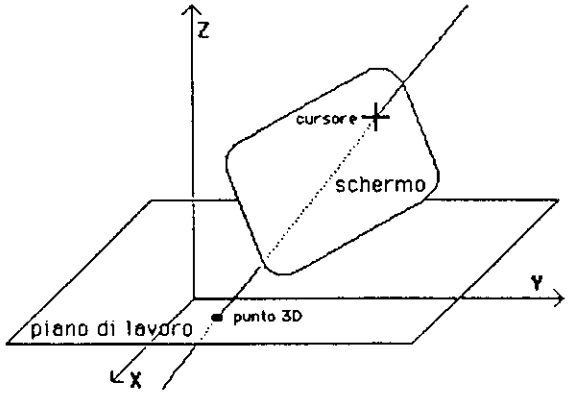
E' possibile operare direttamente nello spazio tridimensionale visto in proiezione assonometrica.
Le operazioni di tracciamento avvengono su piani di lavoro posizionati nello spazio tridimensionale.
Durante le operazioni di tracciamento il cursore è accompagnato dalle coordinate del punto corrispondente sul piano di lavoro.



Per operare comodamente in proiezione assonometrica è possibile cambiare il punto di vista tramite funzioni di traslazione, rotazione, zoom.
Queste funzioni agiscono con gradualità tramite le barre di scorrimento.
La funzione di zoom ha un campo di variazione, tra il massimo ed il minimo ingrandimento, di 25 volte.

Il valore di ingrandimento minimo, o scala, può essere cambiato per disporre del voluto dimensionamento di base dello spazio di lavoro.
Ciò consente l'uso più ampio di qualsiasi unità di misura.

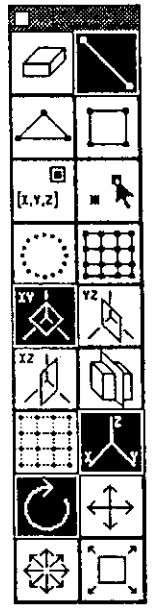
Il metodo del "piano di lavoro" è un metodo innovativo e molto potente che consente il disegno diretto in proiezione assonometrica.
Tale metodo risolve il problema della indeterminazione fra un punto nello spazio tridimensionale e la posizione del cursore sullo schermo.
Infatti al punto definito sullo schermo dal cursore corrisponde una retta nello spazio tridimensionale.



La tecnica del piano di lavoro consente il disegno in proiezione assonometrica

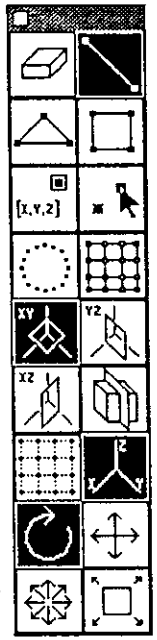
L'introduzione di un piano nello spazio tridimensionale fa sì che l'intersezione fra la retta uscente dal cursore ed il piano determinino un punto e quindi una corrispondenza tra punto nello spazio tridimensionale e posizione del cursore.

Le funzioni per la gestione dello spazio di lavoro e per il tracciamento degli elementi sono affidati alla palette.



La palette di MacSap

La palette è costituita da una serie di icone che sono il simbolo grafico delle funzioni.
Per attivare le funzioni volute, puntare l'icona corrispondente con il cursore e premere e rilasciare il tasto del mouse (clic).
Molte funzioni della palette sono parametriche, il che vuol dire che operano secondo uno o più parametri.
Questi parametri vengono assegnati tramite una finestra di dialogo che si apre puntando l'icona voluta e premendo e rilasciando rapidamente due volte il tasto del mouse (doppio clic).



Attivazione per la funzione di cancellazione

Tracciamento elemento a 3 nodi

Lettura o modifica numerica delle coordinate

Attivazione tracciamento nodi in linea o in cerchio

Attivazione piano di lavoro XY

Attivazione piano di lavoro XZ

Griglia di tracciamento

Attivazione della rotazione

Attivazione dello zoom

Tracciamento elemento a 2 nodi

Tracciamento elemento a 4 nodi

Spostamento di un nodo

Attivazione tracciamento diretto di mesh

Attivazione piano di lavoro YZ

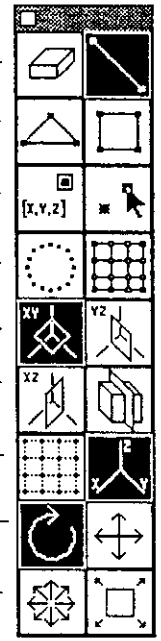
Attivazione sezione

Rappresentazione degli assi cartesiani

Attivazione della traslazione

Attivazione dello zoom a finestra

Le funzioni della palette



Cancellazione totale

Nessuna

Assegnazione numerica delle coordinate

Parametri di tracciamento della linea o del cerchio

Quota piano di lavoro XY

Quota piano di lavoro XZ

Passo della griglia

Nessuna

Nessuna

Nessuna

Nessuna

Parametri di tracciamento della mesh

Quota piano di lavoro YZ

Nessuna

Scala

Nessuna

Panoramica (Autoscale)

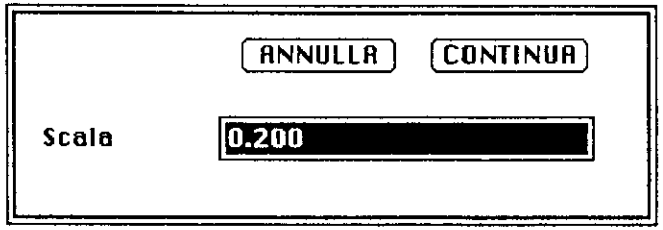
Le funzioni di doppio clic della palette

La palette può essere tolta dallo schermo facendo clic nell'apposito riquadro della finestra e può essere riportata sullo schermo tramite l'opzione **Mostra strumenti** del menu **Funzioni**.

Alcune funzioni levano la palette dallo schermo; per riportarla in vista seguire le modalità sopra indicate.

La scala è il rapporto minimo di ingrandimento.
Per difetto (default) questo valore è 0.2 e consente un uso molto ampio.
La scala deve essere modificata solo in casi particolari, ad esempio in relazione all'unità di misura con cui si vuole operare.
Per modificare la scala, fare un doppio clic sull'icona degli assi della palette.

Assegnazione del fattore minimo di ingrandimento (scala)

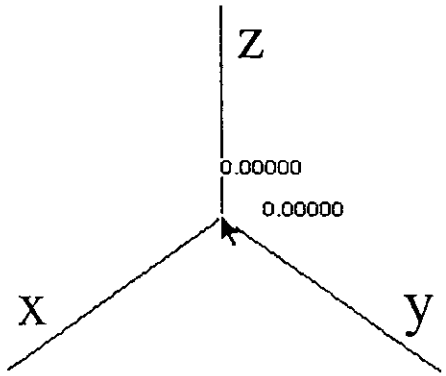


Inserire il valore voluto nella finestra di dialogo.
Il valore di difetto (default) è 0.2.
I valori assegnati devono essere compresi tra 0.02 e 20.

Si consiglia di assegnare il valore di scala all'inizio di un nuovo disegno.
Il cambiamento della scala di un disegno già esistente può comportare che non sia più possibile inquadrare tutte le parti di una struttura.

Per facilitare il riferimento nella proiezione tridimensionale è possibile visualizzare gli assi coordinati.

Gli assi coordinati

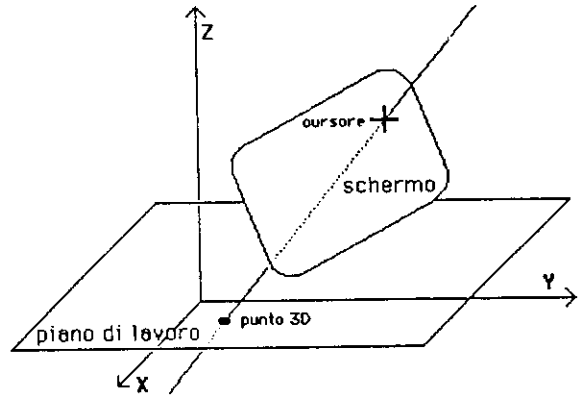


La rappresentazione degli assi coordinati può essere attivata o disattivata agendo sulla corrispondente icona della palette.

Il sistema di riferimento è ortogonale e destrorso.

Il piano di lavoro è un piano posizionato nello spazio tridimensionale sul quale avvengono tutte le operazioni di tracciamento.

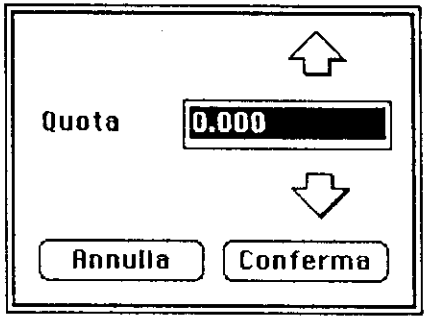
Il piano di lavoro



Sono disponibili, come piani di lavoro, i piani paralleli ai piani coordinati (XY, YZ, XZ) posti alla quota voluta.
Per selezionare il piano di lavoro voluto, attivare l'icona corrispondente nella palette.

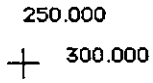
Per cambiare la quota dei piani di lavoro fare un doppio clic rapidamente sull'icona attiva del piano di lavoro ed assegnare la quota tramite la finestra di dialogo.

La quota del piano di lavoro può essere assegnata nei modi seguenti:



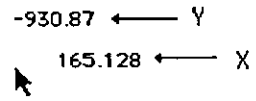
La finestra di dialogo per l'assegnazione della quota del piano di lavoro

1. Assegnare la quota nel campo contraddistinto della finestra di dialogo.
2. Se vi sono dei nodi già assegnati, è possibile spostare il piano di lavoro alla quota di tali nodi agendo sulle frecce.
   La freccia orientata verso l'alto ricercherà automaticamente la quota del nodo immediatamente superiore, la freccia orientata verso il basso quella del nodo immediatamente inferiore.
3. Selezionando un nodo della struttura mentre la finestra di dialogo è aperta verrà proposta la quota di tale nodo.

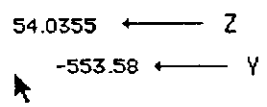


Qualora sia attiva una funzione di tracciamento, il cursore viene accompagnato dalle coordinate del punto corrispondente sul piano di lavoro.
In relazione al piano di lavoro prescelto, le coordinate hanno la seguente corrispondenza:

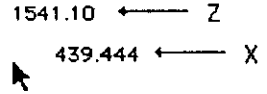
Piano XY
Z=quota



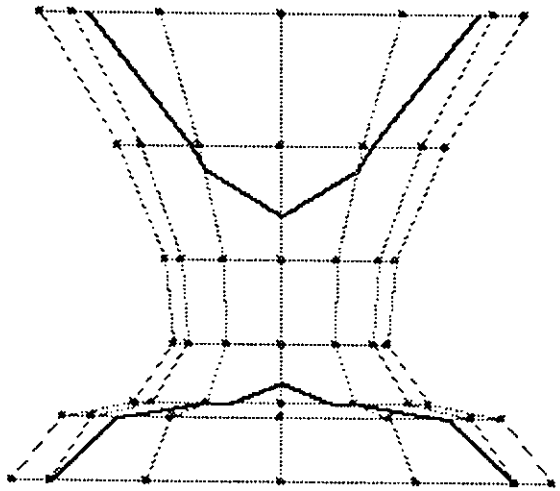
Piano YZ
X=quota



Piano XZ
Y=quota



La struttura può essere tracciata per sezioni alla quota del piano di lavoro.
In questo caso il piano di lavoro verrà a coincidere con quello dello schermo e si opererà su uno spazio bidimensionale anziché in proiezione assonometrica.



Sezione della struttura alla quota del piano di lavoro

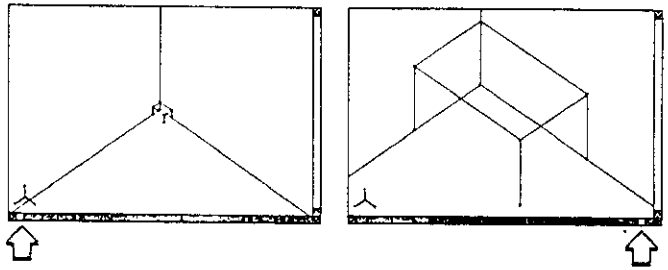
Quando è attiva l'opzione sezione, tutte le operazioni avvengono solo sugli elementi alla quota della sezione.

Per ottenere la rappresentazione in sezione attivare l'icona corrispondente della palette.

Le funzioni di traslazione, rotazione e zoom consentono di cambiare il punto di vista della proiezione assonometrica.
Attivare l'icona corrispondente dalla palette ed agire sulle barre di scorrimento.

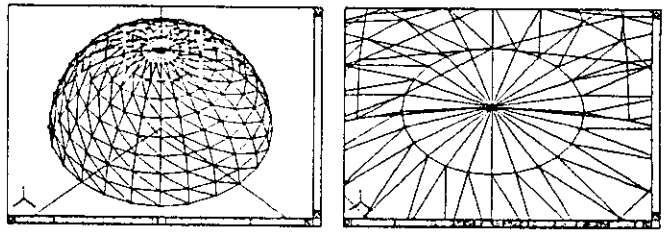
Ruota Trasla Zoom

La funzione di zoom graduale



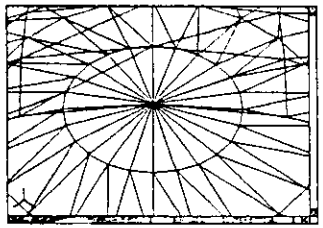
La funzione di zoom è disponibile anche per selezione a finestra.
Attivare l'icona raffigurata e quindi inquadrare l'area voluta in un rettangolo che si ottiene posizionando il cursore e poi spostandolo tenendo premuto il tasto del mouse.

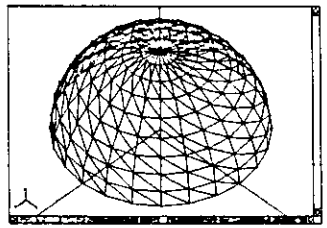
La funzione di zoom tramite finestra

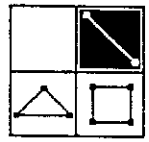


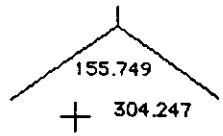
Si può ottenere una panoramica (autoscale) che consente di portare tutto il disegno ad un ingrandimento tale da essere completamente rappresentato sullo schermo.
Fare un doppio clic sull'icona dello zoom a finestra.

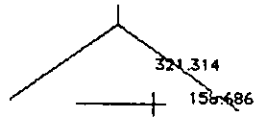
La funzione di panoramica

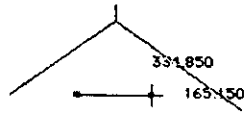


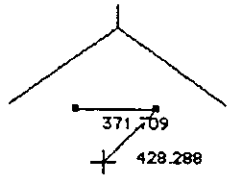


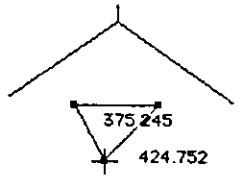












Le operazioni di tracciamento avvengono sul piano di lavoro attivo.
Per tracciare un elemento, procedere come segue:

1. Selezionare il tipo di elemento voluto.

2 nodi 3 nodi 4 nodi

   Il cursore assumerà la forma di croce ad indicare che una funzione di tracciamento è attiva.

2. Posizionare il cursore nel punto del piano di lavoro dove si vuole tracciare il primo nodo dell'elemento.
3. Premere il tasto del mouse.
4. Spostare il cursore tenendo premuto il tasto del mouse fino a raggiungere la posizione nel secondo nodo dell'elemento.
5. Rilasciare il tasto del mouse.
6. Se l'elemento è a più di 2 nodi, premere nuovamente il tasto del mouse.
7. Spostare il cursore, tenendo premuto il tasto del mouse fino a raggiungere la posizione del successivo nodo dell'elemento.
8. Raggiunto l'ultimo nodo, rilasciando il tasto del mouse, l'ultimo lato dell'elemento viene disegnato automaticamente.

Appena rilasciato il tasto del mouse vengono generati i nodi dell'elemento che vengono connessi con l'elemento tracciato.

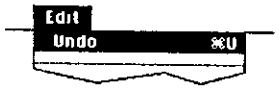
E' possibile tracciare un elemento fra nodi già esistenti.
Questa operazione può essere fatta fra nodi comunque disposti nello spazio indipendentemente dal piano di lavoro attivo.

Un singolo nodo può essere generato premendo e rilasciando il tasto del mouse nel punto voluto dopo aver selezionato l'icona corrispondente al tracciamento di un elemento a due nodi.

Il programma controlla automaticamente che non vengano generati elementi o nodi sovrapposti.
Inoltre controlla la plausibilità e la consistenza degli elementi che, qualora non fossero compatibili, vengono immediatamente cancellati.

Durante il tracciamento è attiva la funzione di snapping che forza il tracciamento dei nodi a coincidere con i nodi già esistenti che gli siano sufficientemente vicini.
La distanza a cui lo snapping agisce è regolata automaticamente dal programma in funzione delle condizioni di disegno attive.

Qualora la direzione di proiezione sia pressocché parallela al piano di lavoro, il tracciamento non è più possibile e viene automaticamente disabilitato.



La funzione **Undo** annulla l'ultima operazione di tracciamento effettuata.

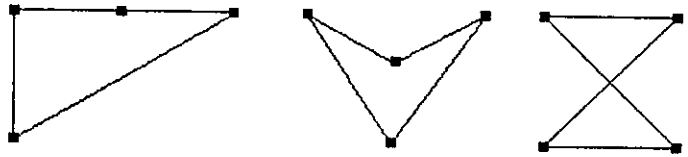
Vedi:

La griglia facilita il tracciamento.

Vedi:

E' possibile assegnare numericamente le coordinate dei nodi.

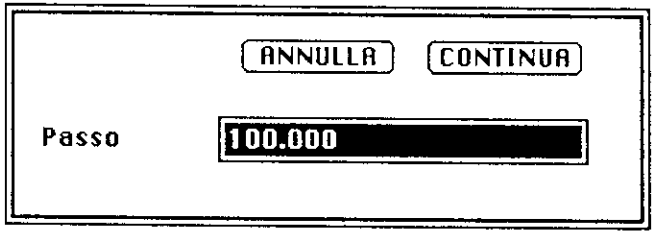
Non è ammesso il tracciamento di elementi concavi a quattro nodi.
In questa eventualità il programma non accetta l'elemento tracciato.



La griglia è costituita da un insieme virtuale di punti disposti secondo una maglia ortogonale a passo definibile dall'utente.
Il cursore, quando la griglia è attiva, è forzato nei punti della griglia.
Ciò consente di disegnare con facilità e precisione.
La griglia è disposta in relazione al piano di lavoro attivo ed ha origine coincidente con l'origine del sistema di coordinate.

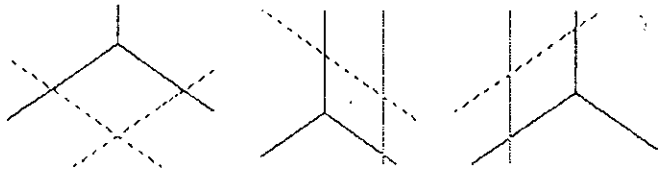
Per attivare la griglia attivare l'icona corrispondente della palette.

Per definire il passo della griglia, fare un doppio clic sull'icona della griglia ed assegnare il valore del passo nella finestra di dialogo.



Il dialogo per l'assegnazione del passo della griglia

Quando la griglia è attiva, il cursore assume l'aspetto di un filo in croce per consentire un miglior allineamento con gli elementi già tracciati.



La funzione di cancellazione consente di eliminare dal disegno nodi od elementi.

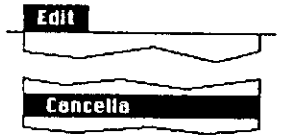
Per ottenere la cancellazione attivare l'icona corrispondente della palette.
Quindi puntare l'elemento od il nodo voluto e premere e rilasciare il tasto del mouse (clic).

La cancellazione totale di tutti gli elementi del disegno si ottiene con un doppio clic sull'icona.

Le operazioni di cancellazione possono essere annullate tramite la funzione **Undo**.

E' possibile cancellare più elementi e nodi contemporaneamente.

Il programma controlla che non vengano cancellati nodi a cui siano connessi degli elementi e non effettua tale cancellazione.



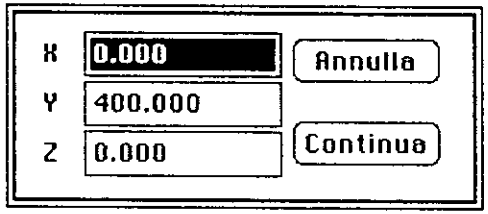
La cancellazione totale è ottenibile anche tramite la funzione **Cancella** del menu **Edit**.

Le coordinate di un nodo già tracciato possono essere lette ed eventualmente modificate.

Per usufruire di questa funzione attivare l'icona corrispondente della palette.

Quando la funzione è attiva, puntando un nodo e premendo e rilasciando il tasto del mouse si apre una finestra di dialogo con le coordinate del nodo.

Lettura delle coordinate di un nodo



Qualora si intenda modificare tali coordinate, assegnare i valori voluti e quindi confermare tramite il bottone **Continua** del dialogo.

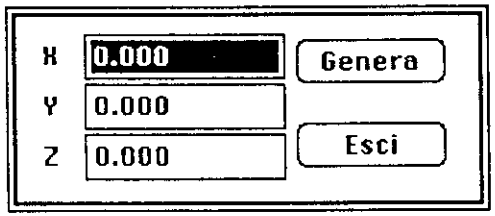
E' possibile leggere le coordinate di altri nodi anche mentre la finestra di dialogo è aperta semplicemente selezionandoli con un clic.

I nodi possono anche essere generati numericamente anziché graficamente tramite l'assegnazione delle loro coordinate.

Si accede a questa funzione tramite un doppio clic sull'icona della palette.

Si apre subito una finestra di dialogo che consente l'immissione delle coordinate.

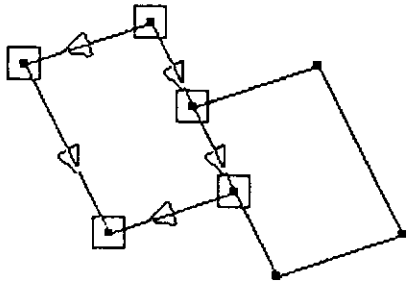
Il dialogo per l'assegnazione numerica dei nodi



Il bottone **Genera** del dialogo provoca la generazione di un nodo nella posizione definita dalle coordinate.

Se è attiva la funzione sezione, l'assegnazione numerica è possibile per i nodi che giacciono sul piano di sezione.
A tal fine la voce della coordinata corrispondente alla quota del piano è disabilitata.

La selezione multipla



E' possibile selezionare più nodi od elementi contemporaneamente tenendo premuto, durante la selezione, il tasto delle maiuscole. In questo caso, a selezione avvenuta, rilasciare il tasto delle maiuscole e fare un clic per dare avvio alla funzione attiva.

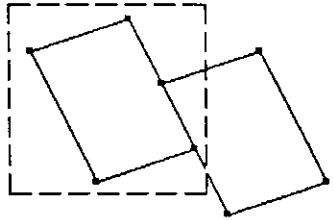
In caso di errore nella selezione multipla è possibile puntare nuovamente l'elemento od il nodo erroneamente selezionato e fare clic per deselezionarlo.

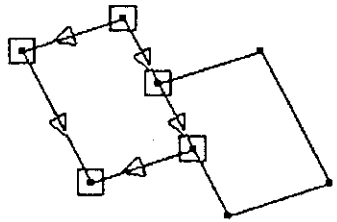
E' possibile selezionare tutti i nodi o gli elementi del disegno tramite l'opzione **Seleziona tutto** del menu **Edit**.

Qualora, mentre si sta attivando l'opzione **Seleziona tutto**, si è tenuto premuto il tasto delle maiuscole, la funzione attiva in quel momento non va in esecuzione ed è possibile effettuare modifiche della selezione.

Se è attiva l'opzione sezione, vengono selezionati solo gli elementi che si trovano sul piano di sezione.

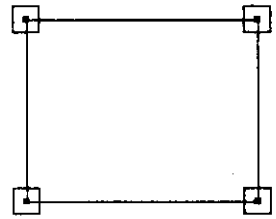
Selezione per rettangolo





E' possibile selezionare tutti i nodi o gli elementi contenuti in una finestra rettangolare.
Questa funzione è automaticamente attivata appena, premuto il tasto del mouse per una selezione, non viene trovato in corrispondenza alcun elemento o nodo.
E' allora sufficiente spostare il mouse, sempre mantenendo premuto il tasto del mouse, per tracciare un rettangolo con il quale racchiudere i nodi o gli elementi voluti.
Rilasciando il tasto del mouse la funzione attiva in quel momento va immediatamente in esecuzione.
Anche per la selezione per finestra è possibile tenere premuto il tasto delle maiuscole per evitare che la funzione vada in esecuzione e poter così effettuare nuove selezioni o modifiche.

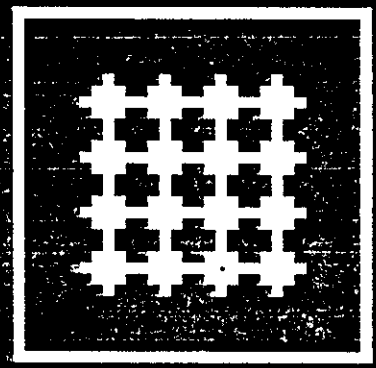
Selezione dei pilastri in pianta



Se è attiva la sezione ed il piano di lavoro è un piano XY, è possibile selezionare gli elementi verticali (pilastri) selezionando i nodi corrispondenti.

Sezione B

LE AUTOGENERAZIONI

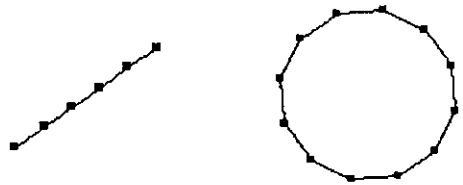


Le autogenerazioni

Con autogenerazione si intende una funzione atta a generare un insieme di nodi o di elementi secondo parametri opportuni.
Le autogenerazioni disponibili in MacSap sono le seguenti:

1. Generazione di linee, anche curve, tramite il tracciamento di nodi, eventualmente connessi da elementi monodimensionali.

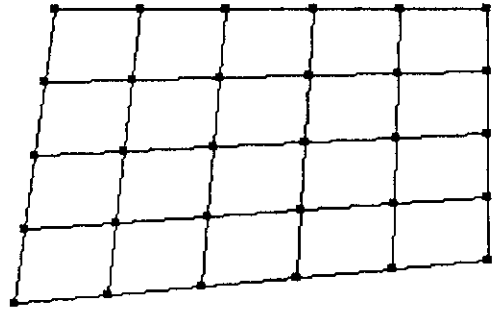
Tracciamento automatico di nodi secondo una linea o una circonferenza



Questa funzione è attivata dalla palette.

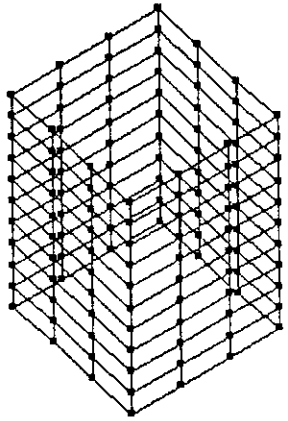
2. Mappaggio parametrico di una maglia quadrangolare definita da quattro lati rettilinei.
   Oltre ai nodi vengono generati gli elementi bidimensionali che li connettono.
   Questa funzione è attivata dalla palette.

Mappaggio parametrico in un quadrilatero

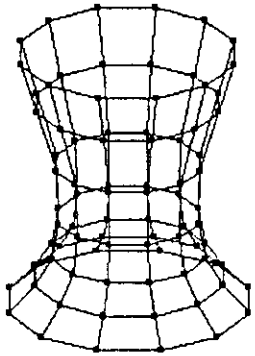


3. Generazione di superfici per rotazione o estrusione.
   Viene definito un asse del tutto generale rispetto al quale, in coordinate cilindriche, viene generata una mesh di elementi bidimensionali partendo da una curva definita da un insieme di nodi.

Generazione per estrusione ortogonale

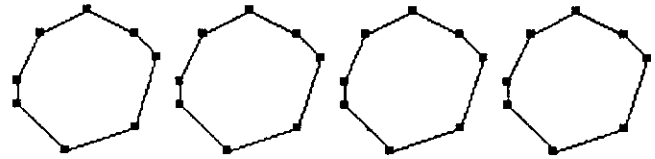


Generazione per rotazione



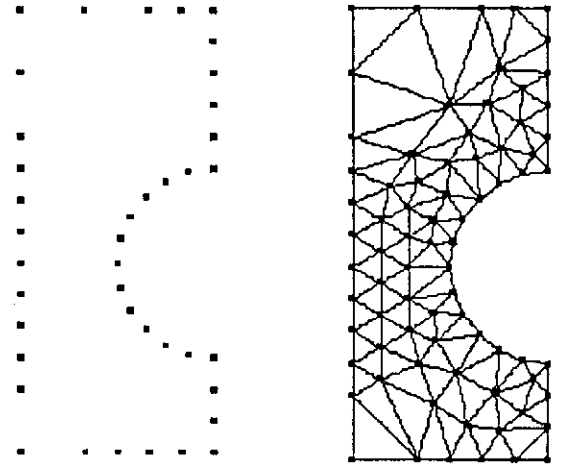
4. Duplicazione per il numero di volte voluto, a passo prefissato, sempre secondo un asse generico ed in coordinate cilindriche, di un insieme di nodi e di elementi.

Duplicazione di elementi



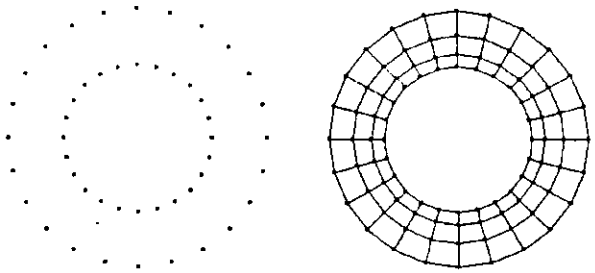
5. Triangolazione.
   Metodo di generazione automatica di una mesh di elementi triangolari partendo da un contorno piano del tutto generale.

Triangolazione



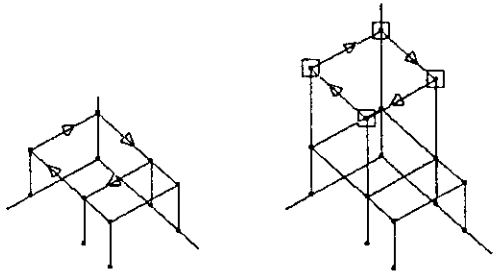
6. Interpolazione Lagrangiana.
   Generazione di una mesh di elementi a 3 o a 4 nodi partendo da un contorno formato da 2 o 4 lati anche curvi.
   Il contorno non deve essere necessariamente piano.

Interpolazione Lagrangiana tra 2 lati curvi



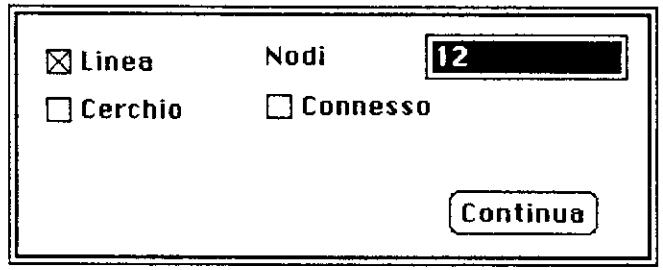
7. Autogenerazione di telai.
   Questa è una funzione specializzata per telai che opera estrudendo dai nodi gli elementi verticali (pilastri) e contemporaneamente copiando gli elementi orizzontali (travi) alla quota richiesta.
   Questa funzione è interattiva, nel senso che ad ogni generazione di un piano è possibile modificare la selezione degli elementi o la quota dell'interpiano.

Generazione automatica dei telai



Questa funzione consente di posizionare dei nodi, eventualmente connessi da elementi monodimensionali, secondo una linea oppure un cerchio.
Per utilizzare questa funzione, attivare l'icona corrispondente della palette.
I parametri della funzione vengono assegnati in una finestra di dialogo alla quale si accede tramite un doppio clic sull'icona.

I parametri della funzione di generazione di linee



La generazione può avvenire secondo un segmento o secondo una circonferenza.
Scegliere, nella finestra di dialogo, l'entità geometrica voluta.
Indicare quindi il numero di nodi che si vogliono generare e se si vuole che tali nodi siano connessi da elementi monodimensionali.
Per il tracciamento operare come segue:

1. Posizionare il cursore nel punto voluto.
2. Premere il pulsante del mouse e spostare il cursore.
   Il segmento verrà tracciato partendo dal punto iniziale.
   Nel caso della circonferenza il punto iniziale sarà invece il centro della circonferenza stessa.

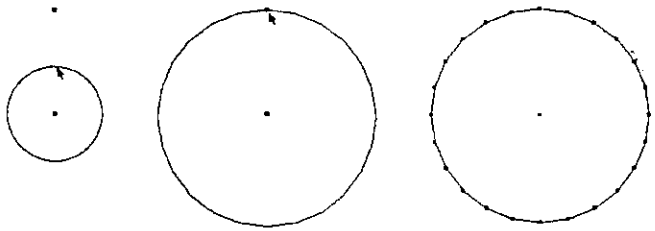
3. Raggiunto il punto finale voluto, rilasciare il tasto del mouse. I nodi si disporranno, nel numero voluto, secondo la curva appena tracciata.

   E' possibile connettere, con questa funzione, nodi già esistenti. La funzione di snapping è attiva e quindi è possibile attivare un tracciamento preciso tra nodi esistenti.

Esempio:

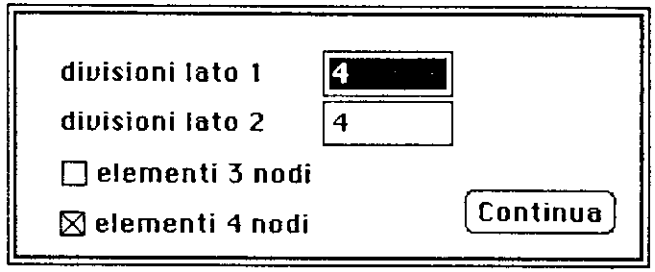
Parametri dell'esempio

Si vogliono disporre 24 nodi, connessi da elementi monodimensionali, secondo una circonferenza il cui centro ed uno dei punti del perimetro sono definiti da nodi già esistenti.

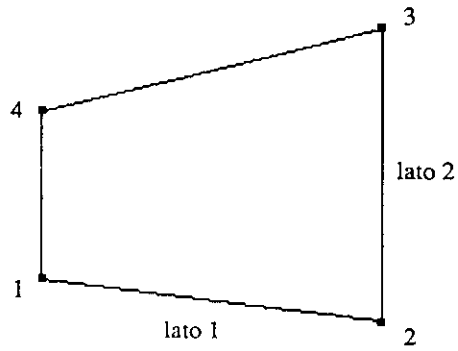


Questa funzione consente di mappare una maglia ortogonale in una superficie, anche non piana, definita da quattro segmenti rettilinei di contorno rettilineo.
Per utilizzare questa funzione, attivare l'icona corrispondente nella palette.
I parametri della funzione vengono assegnati in una finestra di dialogo alla quale si accede tramite un doppio clic sull'icona.

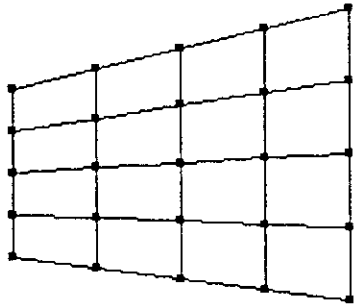
I parametri della funzione di mappaggio parametrico



Il tracciamento delle linee di contorno viene effettuato direttamente come per il tracciamento di elementi a 4 nodi.

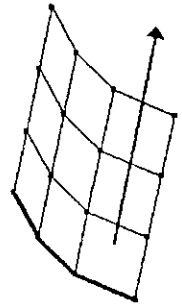


Il tracciamento può avvenire anche tra nodi già esistenti.
Viene definito "lato 1" il primo lato tracciato, "lato 2" il secondo.
Nella finestra di dialogo dei parametri assegnare il numero di suddivisioni per ciascun lato e quindi se si desidera ottenere una mesh formata da elementi a 3 o a 4 nodi.

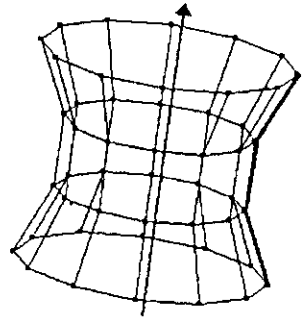


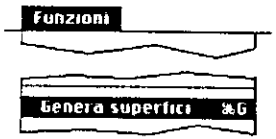
Questa funzione consente di generare delle superfici per estrusione o per rivoluzione rispetto ad un asse comunque disposto nello spazio.
I parametri di generazione sono assegnati in coordinate cilindriche.
La generazione avviene partendo da una curva, del tutto generale, assegnata tramite un insieme di nodi.
Questa curva, traslata secondo un asse rettilineo oppure fatta ruotare intorno ad un asse, genera una superficie definita da nodi che giacciono su di esso e da elementi che connettono tali nodi.

Estrusione lungo una direzione



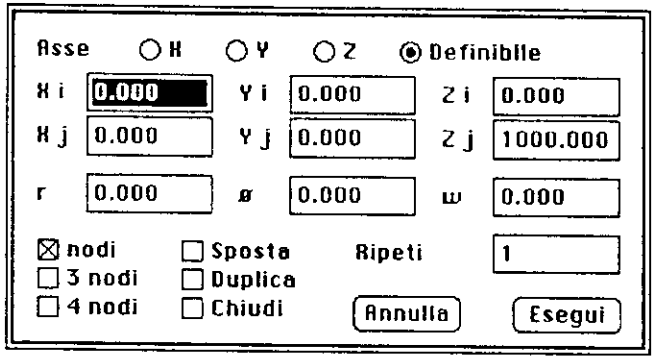
Estrusione per rivoluzione intorno ad un asse



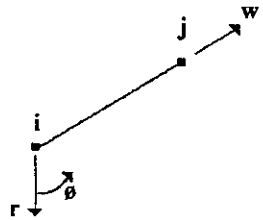


Questa funzione viene attivata tramite l'opzione **Genera superfici** del menu **Funzioni**.
Appena viene attivata si presenta una finestra di dialogo la quale consente di assegnare i parametri della funzione.

I parametri della funzione di generazione di superfici



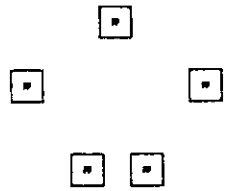
L'asse di riferimento della generazione viene assegnato tramite le coordinate dei due estremi detti **i** e **j**.
Per comodità di assegnazione, la finestra di dialogo consente di assegnare direttamente un asse coincidente con quelli coordinati tramite i bottoni **X**, **Y**, **Z**.
Il bottone **Definibile** invece consente di assegnare direttamente le coordinate degli estremi dell'asse.



La direzione ed il passo di estrusione vengono assegnati in coordinate cilindriche.
Il campo **Ripeti** consente di assegnare il numero di volte che si desidera che l'estrusione venga ripetuta.

L'opzione **Sposta** della finestra dei parametri consente di spostare nodi ed elementi sempre nel riferimento dell'asse di generazione.
L'opzione **Duplica** consente di duplicare per il numero di volte voluto un insieme di nodi ed elementi spostandoli ogni volta della quantità voluta, sempre nel sistema di riferimento dell'asse di generazione.

Selezione della curva di partenza



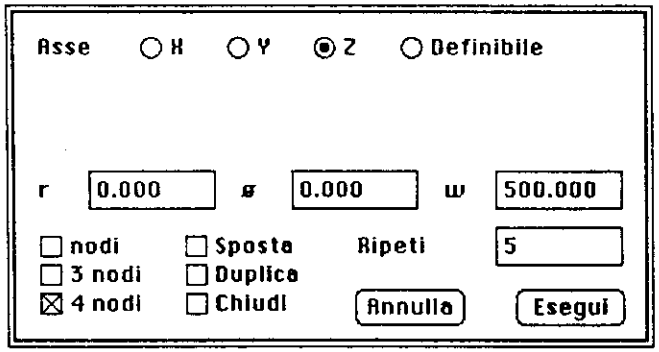
Una volta definiti i parametri della funzione, selezionare la curva di partenza voluta puntando i nodi con il cursore e premendo e rilasciando il tasto del mouse.
I nodi selezionati vengono contrassegnati da un quadrato ad indicare l'avvenuta selezione.
Dopo aver selezionato i nodi voluti, premere il tasto di ritorno carrello per dare avvio alla funzione.

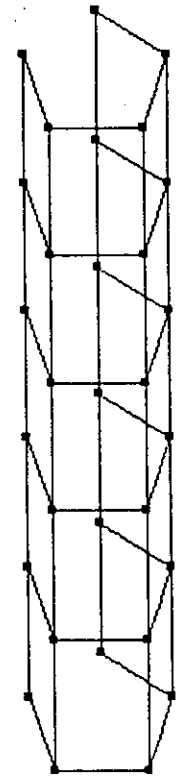
Nel caso delle estrusioni, esse avvengono secondo una curva di partenza e quindi, per descrivere tale curva, i nodi devono essere selezionati nell'ordine in cui descrivono la curva.

Esempio:

Vogliamo estrudere secondo un asse coincidente con l'asse Z (cioè verticalmente) una curva definita da alcuni nodi.
Vogliamo che il passo di estrusione sia 500 e che sia ripetuto 5 volte generando una mesh formata da elementi a 4 nodi.
Assegnare i seguenti parametri nella finestra di dialogo.

I parametri dell'esempio



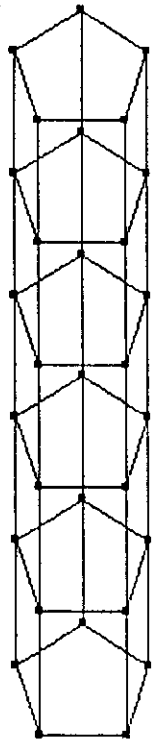


Generazione della mesh per estrusione secondo una direzione di una curva aperta

L'opzione **Chiudi** consente di considerare la curva di partenza come una curva chiusa.

Esempio:

Si opera sullo stesso esempio precedente ma attivando l'opzione **Chiudi**.



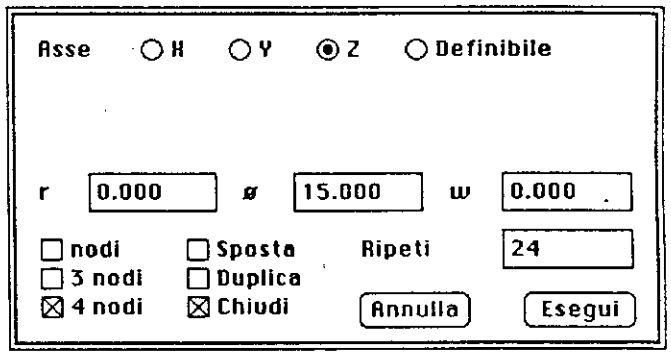
Generazione della mesh per estrusione secondo una direzione di una curva chiusa

L'estrusione per rivoluzione si ottiene assegnando l'angolo di rotazione Ø per ogni passo di estrusione ed il numero di volte che si vuole che l'estrusione venga effettuata.
Anche qui la curva di partenza può essere chiusa.

Esempio:

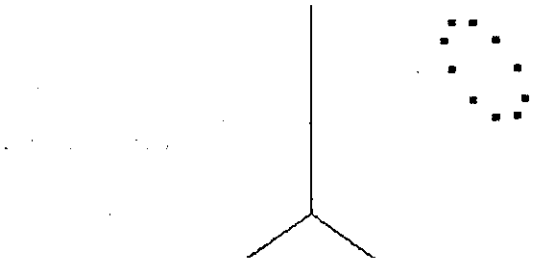
Si voglia generare un toro intorno all'asse Z.
Assegnare i parametri come segue:

I parametri dell'esempio

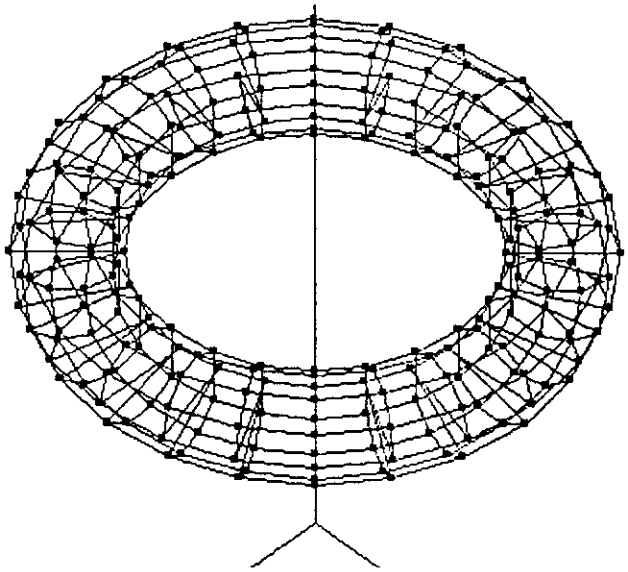


Tracciare i nodi che definiscono la curva da estrudere e selezionarli nell'ordine.
Premere il tasto di ritorno carrello per dare inizio alla generazione.

La curva di partenza per la generazione del toro

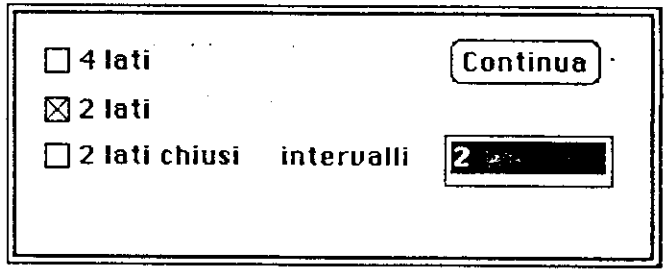


Generazione di una mesh toroidale per rivoluzione



Per interpolazione si intende il raccordo tra due o più curve tramite una superficie.
Le curve non devono essere necessariamente piane e quindi la superficie generata è una superficie nello spazio tridimensionale.
L'interpolazione tra 4 lati oppure tra 2 lati chiusi è una interpolazione lagrangiana.
Nel caso invece di interpolazione tra 2 curve, l'interpolazione è lineare.
Nel caso di interpolazione tra due curve si devono assegnare gli intervalli in cui è suddivisa la mesh tra le due curve.
Questa funzione è attivata tramite l'opzione **Interpolazione** del menu **Funzioni**.
Appena attivata l'opzione dal menu, compare una finestra di dialogo per l'assegnazione dei parametri della funzione.

Parametri della funzione di interpolazione

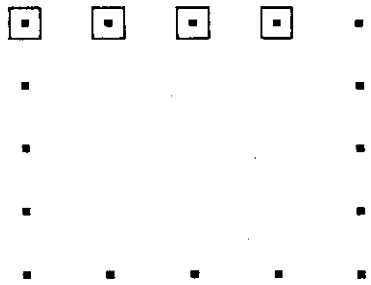


Assegnati i parametri, confermarli tramite il bottone **Continua** e quindi selezionare i nodi che definiscono le curve di confine.

Nel caso del contorno formato da 4 curve, procedere come segue:

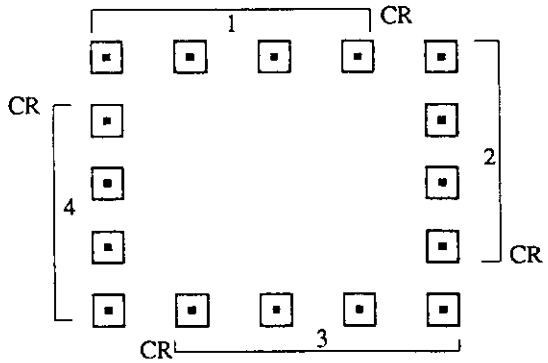
1. Selezionare i nodi della prima curva partendo dal primo e poi ordinatamente fino al penultimo, quello cioè che è anche il nodo iniziale della seconda curva.

Selezione del primo lato



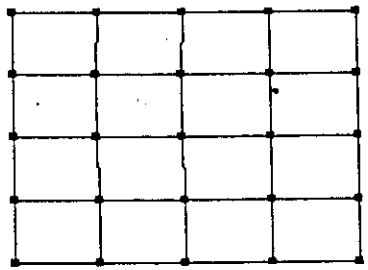
2. Battere il tasto di ritorno carrello <CR>.
3. Ripetere l'operazione per i restanti tre lati.
   Dopo aver premuto il tasto di ritorno carrello relativo al quarto lato, la funzione inizia automaticamente.

Modo di selezione dei nodi che definiscono le curve di bordo



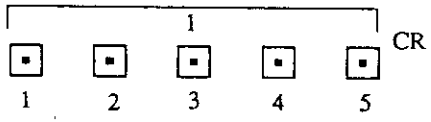
Il numero dei nodi che definiscono le curve opposte deve essere eguale. In caso contrario il programma segnalerà l'errore.

Mesh ottenuta per interpolazione lagrangiana tra quattro curve

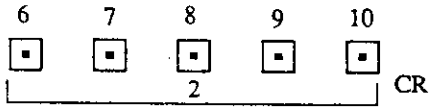


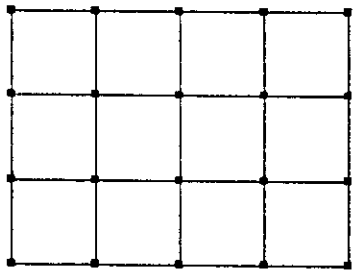
Nel caso di interpolazione tra 2 curve assegnare nella finestra di dialogo il numero di intervalli con cui congiungere le due curve quindi procedere come segue:

1. Selezionare ordinatamente i nodi che definiscono una delle due curve.
2. Battere il tasto di ritorno carrello <CR>.
3. Ripetere i punti 1. e 2. per la seconda curva facendo attenzione a selezionare i nodi in modo che corrispondano.



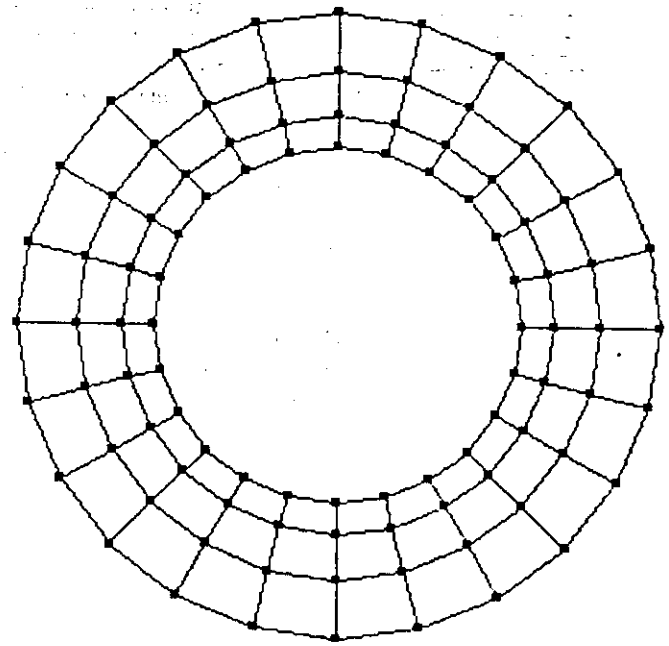
Selezione dei nodi per l'interpolazione tra due curve





Mesh ottenuta per interpolazione lagrangiana tra due curve avendo assegnato tre intervalli

Nel caso di interpolazione tra due curve chiuse assegnare il numero di intervalli tra le due curve e selezionare l'opzione 2 lati chiusi nella finestra di dialogo.
Quindi procedere come per le due curve aperte.

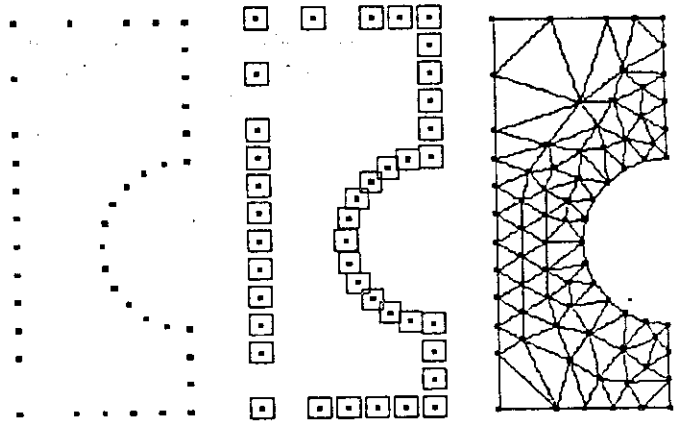


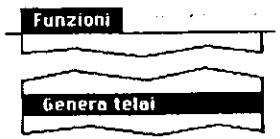
Mesh ottenuta per interpolazione lagrangiana in un area definita da 2 curve

La triangolazione consente di generare una mesh formata da elementi triangolari su un'area piana definita da un contorno formato da un insieme di nodi.
Questa funzione è attivata dall'opzione **Triangolazione** del menu **Funzioni** e non prevede alcuna finestra di dialogo.
La funzione è attivabile solo se è attiva l'opzione sezione.
La selezione dei nodi di contorno deve avvenire ordinatamente ed in senso antiorario.
A selezione avvenuta premere il tasto di ritorno carrello per avviare la funzione.
E' possibile eseguire una selezione per rettangolo di tutto il contorno.
In questo caso l'ordinamento dei nodi viene automaticamente effettuato dal programma.
E' però indispensabile che il contorno sia rigorosamente convesso.
Anche in questo caso usare il tasto di ritorno carrello per avviare il procedimento.
E' bene che il contorno sia definito da nodi ad intervalli piccoli e regolari.
Il contorno deve essere convesso altrimenti non è certo che la funzione si concluda con successo.
Per interrompere l'elaborazione premere contemporaneamente i tasti <comando> e <:>.

Per ottenere la triangolazione procedere come segue:

1. Definire il contorno.
2. Selezionare i nodi in senso antiorario (o tramite rettangolo se il contorno è rigorosamente convesso).
3. Premere il tasto di ritorno carrello.

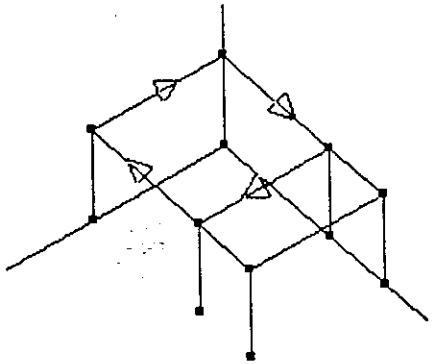




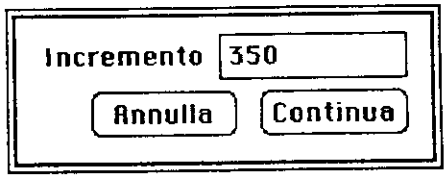
Questa è una funzione specializzata per la generazione automatica di strutture intelaiate tridimensionali.
Questa autogenerazione genera un impalcato copiando quello sottostante ed estrudendo dai nodi gli elementi verticali che collegano il nuovo impalcato con quello precedente.
Gli elementi che si vuole vengano copiati nel successivo impalcato devono essere selezionati.
Avvenuta la selezione, premere il tasto di ritorno carrello.
Assegnare quindi nella finestra di dialogo che si aprirà immediatamente il valore di interpiano al quale si vuole che il nuovo impalcato venga generato rispetto a quello precedente.
Quindi attivare il bottone **Continua**.
Il bottone **Annulla** interrompe l'autogenerazione di un eventuale successivo impalcato.
L'opzione **Undo** del menu **Edit** annulla l'ultimo impalcato generato.
Avvenuta la generazione di un impalcato, la finestra di dialogo viene automaticamente riproposta per l'eventuale generazione di un altro impalcato.
E' possibile modificare la selezione prima di premere il tasto di ritorno carrello al fine di modificare la disposizione dei successivi impalcati.
L'autogenerazione provvede a copiare anche le caratteristiche degli elementi eventualmente assegnate.

Esempio:
Si abbia un telaio di cui si è definito solo il primo impalcato e si voglia generare un nuovo impalcato ad una quota superiore di 350 copiando solo una parte dell'impalcato esistente.

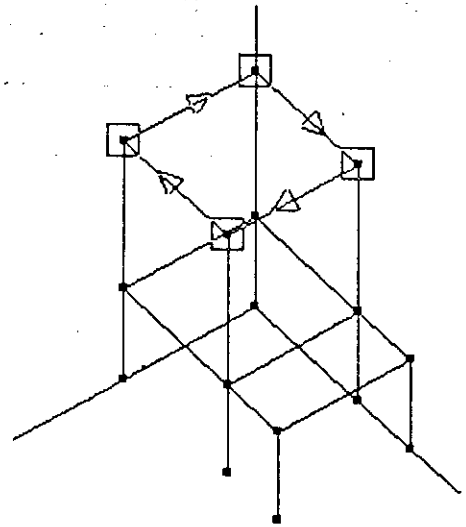
1. Attivare l'opzione **Genera telai** dal menu **Funzioni**.
2. Selezionare gli elementi voluti.
   Premere il tasto di ritorno carrello.



3. Assegnare l'incremento di quota.

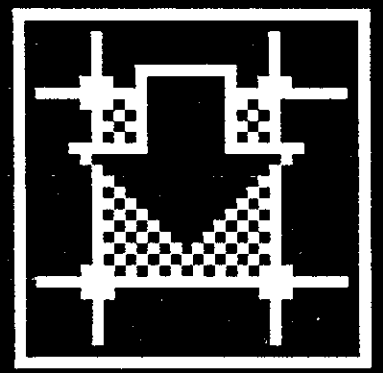


4. Attivare il bottone **Continua**.

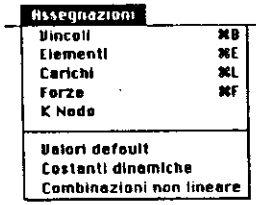


Sezione C

LE ASSEGNAZIONI



Le assegnazioni

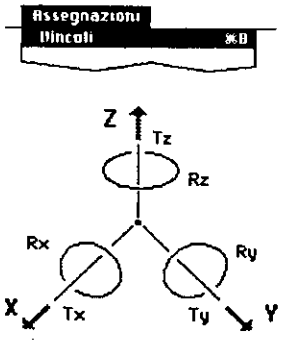


MacSap consente di assegnare direttamente agli elementi ed ai nodi disegnati i valori numerici che ne caratterizzano il comportamento strutturale.
A questo fine, dopo aver scelto l'opzione di assegnazione dal menu apposito, selezionare i nodi o gli elementi voluti e quindi assegnare i valori voluti.
E' possibile selezionare contemporaneamente tutti i nodi o gli elementi che richiedono la stessa assegnazione.
Non vige, come del resto in tutta la concezione di MacSap, alcuna gerarchia nell'ordine di assegnazione.
Le stesse funzioni di assegnazione consentono di controllare ed eventualmente modificare i dati già assegnati.

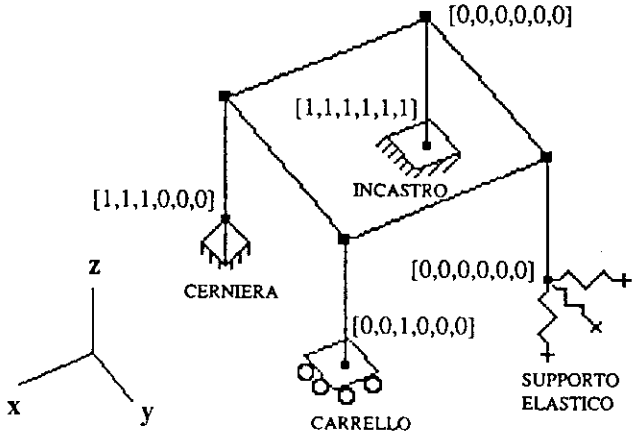
Selezionando più nodi od elementi cui sono stati già assegnati valori diversi, la finestra di dialogo riporterà valori nulli o di difetto (default) e qualsiasi assegnazione annullerà quelle precedenti.
Se non si vogliono annullare le precedenti assegnazioni usare il bottone **Annulla**.

I valori che possono essere assegnati sono i seguenti:

Vincoli nodali
Forze e Masse agenti sui nodi
Caratteristiche degli elementi e delle sezioni
Carichi e masse agenti sugli elementi
Nodo K per l'orientamento del sistema locale di riferimento

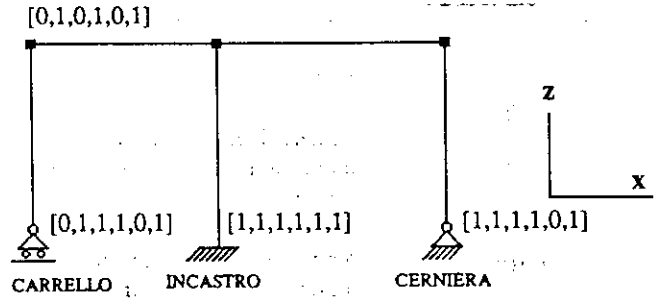


Ogni nodo del modello strutturale ha sei componenti di spostamento: tre traslazioni globali Tx, Ty e Tz e tre rotazioni globali Rx, Ry ed Rz.
Le direzioni associate a queste sei componenti di spostamento sono dette gradi di libertà del nodo.
L'assegnazione del vincolo nel nodo viene effettuata assegnando il valore 1 o 0 a ciascuno dei sei gradi di libertà del nodo.
Il numero 1 indica che quel grado di libertà è impedito, 0 (zero) che è libero.



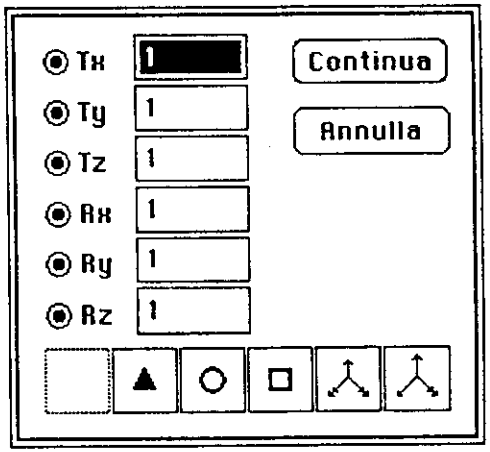
Esempi di vincoli per una struttura tridimensionale

Esempio di vincoli in una struttura piana nel piano XZ



In MacSap i nodi vengono rappresentati come piccoli quadrati; tale rappresentazione non deve indurre in errore attribuendo a tali simboli il significato della presenza di qualsiasi tipo di vincolo, ad esempio di cerniera.

La finestra di dialogo per l'assegnazione dei vincoli



◉ Ty [1]

◉ Tx
◉ Ty
◉ Tz
◉ Rx
◉ Ry
◉ Rz

Il valore numerico che specifica per ogni grado di libertà se è impedito o libero deve essere 1 (uno) se impedito e 0 (zero) se libero.

Numeri diversi da questi sono usati per la funzione Master-Slave, quindi non usare numeri diversi da 0, 1 per l'assegnazione di condizioni di vincolo.

Per comodità di assegnazione di questi valori, si può fare uso dei bottoni posti sulla sinistra della finestra i quali immettono automaticamente i valori di 0 o 1.

Tipi di vincolo ad assegnazione diretta

Alcuni tipi di vincolo comuni possono essere assegnati direttamente selezionando le icone poste in basso nella finestra.
A tali icone corrispondono i seguenti schemi di vincolo:

	Libero	0,0,0,0,0,0
	Incastro	1,1,1,1,1,1
	Cerniera sferica	1,1,1,0,0,0
	Strutture reticolari	0,0,0,1,1,1
	Piastra sul piano XY	1,1,0,0,0,1
	Telaio sul piano XZ	0,1,0,1,0,1

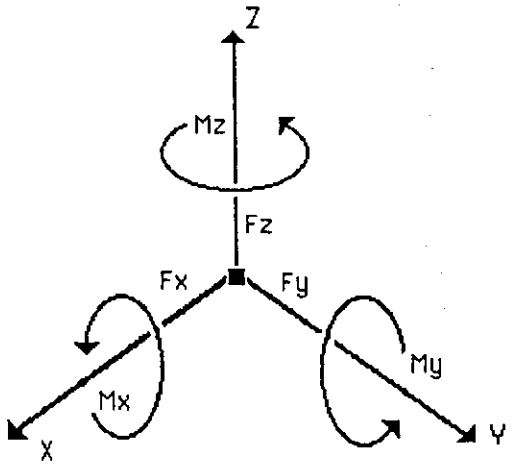
Vedi:

Per la rappresentazione grafica dei vincoli assegnati attivare l'opzione **Mostra dati** del menu **Funzioni**.

Carichi, nella forma di forze o momenti agenti in un punto, possono essere assegnate a qualsiasi nodo della struttura.

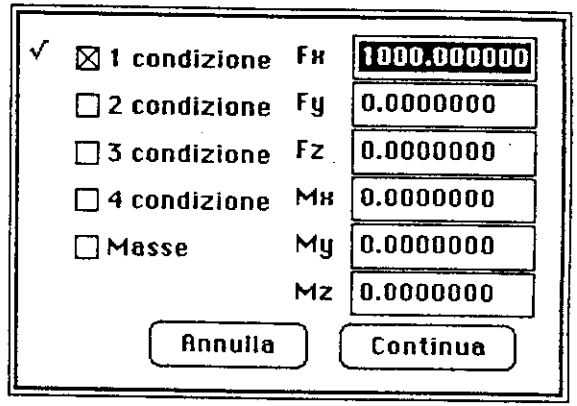
Questi carichi possono essere assegnati solo secondo i gradi di libertà liberi del nodo, in caso contrario non vengono presi in considerazione dal programma.

Il sistema di riferimento è quello globale.



Il sistema di riferimento globale delle forze nodali

Le forze nodali possono essere assegnate per quattro distinte condizioni di carico.
Queste condizioni di carico sono le stesse dei carichi agenti sugli elementi e pertanto le forze nodali ed i carichi sugli elementi agiscono insieme per ciascuna condizione di carico.



Il dialogo per l'assegnazione delle forze nodali

Per assegnare le forze nodali procedere come segue:

1. Selezionare l'opzione **Forze** dal menu **Assegnazioni**.
2. Selezionare uno o più nodi.
   Al termine della selezione si apre la finestra di dialogo.
3. Selezionare nella finestra di dialogo la condizione di carico per la quale si vogliono assegnare le forze.
   Tale selezione avviene evidenziata dal contrassegno ☒.
4. Assegnare le forze nodali nelle sei componenti: tre componenti di forza secondo le tre direzioni globali (Fx, Fy ed Fz) e tre componenti del momento intorno agli assi globali (Mx, My ed Mz).

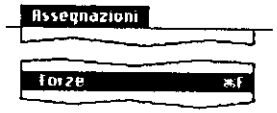
5. Accettare l'assegnazione selezionando il bottone **Continua**. Per rendere inefficace l'assegnazione, ad esempio in caso d'errore, il bottone **Annulla** consente di annullare l'operazione di assegnazione.

✓ ☒ **1 condizione**

Quando sono assegnati dei valori non nulli per una condizione di carico, tale evenienza è indicata da un contrassegno ✓ posto in corrispondenza di tale condizione di carico.

Vedi:

Per una verifica grafica delle forze assegnate, usare la funzione **Mostra dati** del menu **Funzioni**.



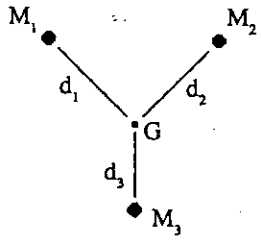
Masse concentrate possono essere assegnate ai nodi della struttura.

Un sistema di masse può anche essere riferito ad un singolo nodo, posto nel baricentro del sistema, assegnando a tale nodo la massa totale del sistema ed il momento d'inerzia polare del sistema rispetto al nodo.

Si ricorda che il momento d'inerzia polare di un sistema di masse rispetto ad un asse è dato da:

$$J_p = \sum_j d_j^2 m_j$$

dove m_j è la massa j-esima e d_j la distanza di tale massa dall'asse rispetto al quale si calcola il momento d'inerzia polare.



Esempio:

Si hanno tre masse M_1, M_2, M_3 che insistono su un impalcato a distanze rispettivamente d_1, d_2, d_3 dal baricentro del sistema.

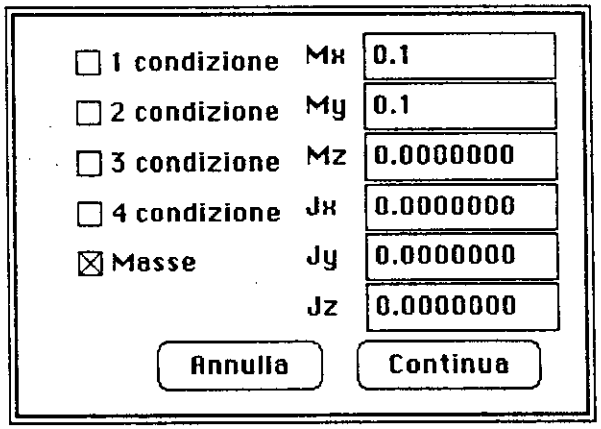
Il sistema di masse può essere riferito al solo nodo baricentrico di massa $M = M_1 + M_2 + M_3$ e di inerzia polare $Jz = M_1 d_1^2 + M_2 d_2^2 + M_3 d_3^2$.

Una massa può essere assegnata indipendentemente a ciascun grado di libertà traslazionale.

Ciò è indispensabile per poter calcolare i soli primi modi di vibrare secondo le direzioni associate ai gradi di libertà che più ci interessano escludendo gli altri.

Assegnando la massa (con lo stesso valore!) per tutti e tre i gradi di libertà traslazionali, non vengono "filtrati", ad esempio, i modi di vibrare secondo Z quando fossimo interessati ai soli modi di vibrare secondo X ed Y.

Le masse, secondo le direzioni traslazionali, vengono disabilitate anche tramite le opzioni del dialogo delle **Costanti dinamiche** del menu **Assegnazioni**.



Dialogo per l'assegnazione delle masse nodali

Per l'assegnazione delle masse nodali procedere come segue:

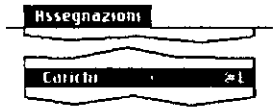
1. Selezionare l'opzione **Forze** dal menu **Assegnazioni**.
2. Selezionare uno o più nodi.
   Al termine della selezione si apre la finestra di dialogo.
3. Selezionare l'opzione **Masse**.
   Tale selezione viene evidenziata dal contrassegno ☒.
   Assegnare i valori di massa secondo i criteri esposti in precedenza.
4. Accettare l'assegnazione selezionando il bottone **Continua**.

✓ ☒ Masse

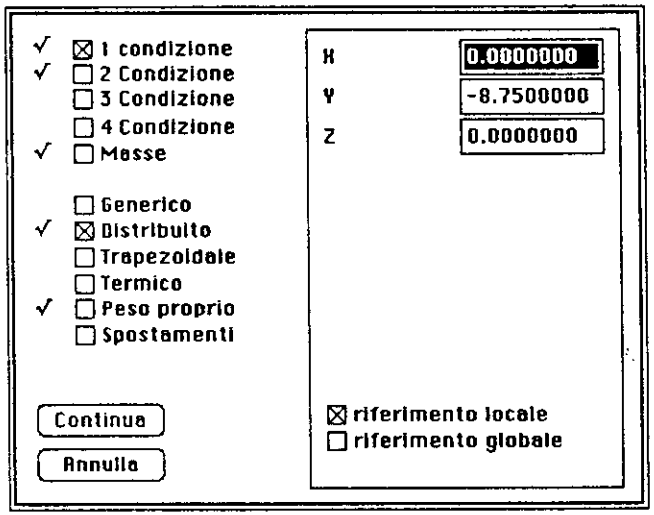
Se vi sono dei valori di massa non nulli assegnati, tale evenienza è indicata da un contrassegno ✓ in corrispondenza della voce **Masse**.

Vedi:

Il nodo baricentrico di un sistema di masse può essere generato automaticamente tramite la funzione **Calcola baricentro** del menu **Funzioni**.



Carichi possono essere assegnati agli elementi della struttura.
Il sistema di riferimento per i carichi agenti sull'elemento è quello locale dell'elemento.
In molti casi però è possibile utilizzare una opzione per l'assegnazione dei carichi nel sistema globale di riferimento provvedendo il programma stesso ad eseguire le opportune trasformazioni.
I carichi devono essere assegnati relativamente ad una delle quattro condizioni di carico indipendenti.
Per condizioni di carico si intende un insieme di carichi indipendenti per i quali la struttura è esplicitamente analizzata.
Tali condizioni di carico sono le stesse usate per l'assegnazione delle forze nodali e pertanto l'azione dei carichi e delle forze è cumulativa per ciascuna condizione di carico.



Dialogo per l'assegnazione dei carichi sugli elementi

Per ogni condizione di carico è possibile assegnare più tipi di carico.
I tipi di carico sono i seguenti:

Generico: assegnato tramite le reazioni di incastro perfetto nel sistema di riferimento locale dell'elemento.

Distribuito: carico costante sull'elemento nelle tre componenti nei sistemi sia locale che globale.

Trapezoidale: carico lineare sull'elemento assegnato nelle tre componenti di carico per ciascun estremo dell'elemento nei sistemi locale o globale.

Peso proprio: peso proprio dell'elemento assegnato come densità del materiale e direzione dell'accelerazione di gravità secondo la quale si vuole far agire la forza peso.

Termico: differenza di temperatura costante su tutto l'elemento o con variazione lineare tra due facce dell'elemento.

Spostamenti: spostamenti imposti ad un nodo assegnato come spostamento imposto all'elemento Boundary.

Per assegnare i carichi operare come segue:

1. Selezionare l'opzione **Carichi** del menu **Assegnazioni**.
2. Selezionare gli elementi voluti.
   Avvenuta la selezione, si aprirà la finestra di dialogo.
3. Selezionare la condizione di carico voluta.
   Tale selezione viene evidenziata dal contrassegno ☒.
4. Selezionare il tipo di carico voluto.
   Tale selezione viene evidenziata dal contrassegno ☒.
   La parte di destra del dialogo verrà configurata per consentire l'assegnazione dei dati relativi al tipo di carico prescelto.
5. Assegnare i valori del tipo di carico secondo le indicazioni per ciascun tipo di carico.

✓ ☒ **2 Condizione** Qualora valori non nulli siano assegnati per una condizione di carico, tale condizione di carico viene contrassegnata ✓.

✓ ☒ **1 condizione**
✓ ☒ **Distribuito** Qualora, per la condizione di carico prescelta (contrassegnata ☒), valori non nulli siano assegnati per un tipo di carico, tale tipo di carico è contrassegnato ✓.

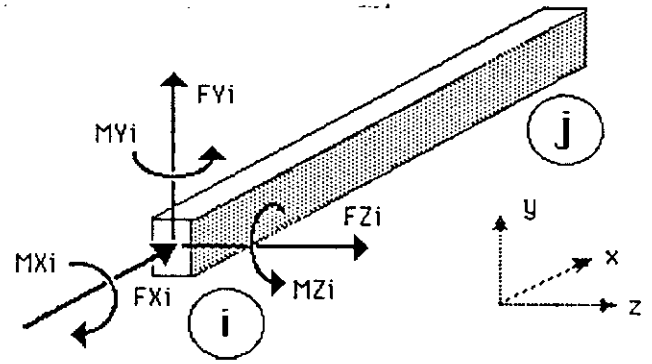
Vedi:

Per la rappresentazione grafica dei carichi attivare l'opzione **Mostra dati** del menu **Funzioni**.

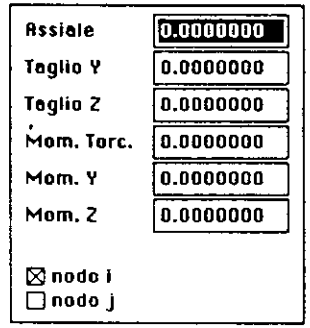
✓ ☒ **Generico** Tale tipo di carico viene assegnato, nel riferimento locale dell'elemento, tramite le reazioni di incastro perfetto agli estremi dell'elemento.

> ⚠ Questo tipo di carico è valido solo per l'elemento Trave.

Il sistema di riferimento e la rotazione per l'assegnazione del carico generico

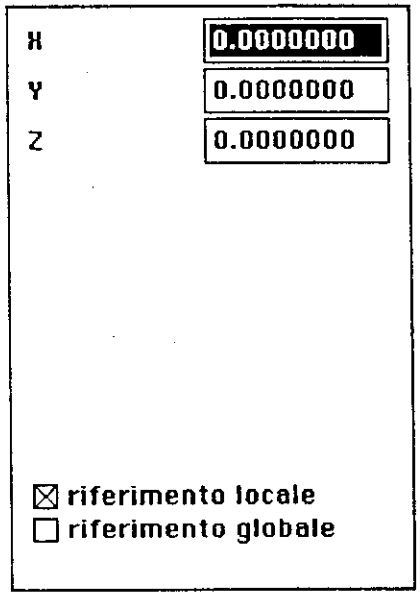


La finestra di dialogo per l'assegnazione del carico generico



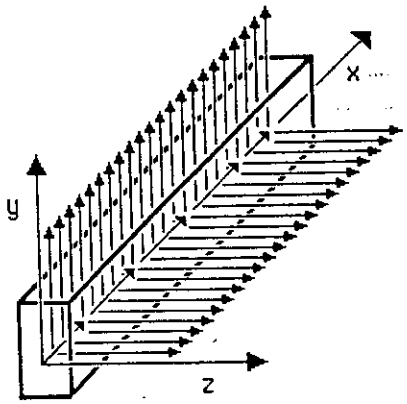
✓ ☒ **Distribuito**

Il carico uniformemente distribuito è un carico costante lungo tutto l'elemento, assegnato secondo le tre componenti (X, Y, Z) di carico unitario nel riferimento locale o globale.
Il carico unitario si intende per unità di lunghezza nel caso di elementi monodimensionali (esempio: kg/cm) e per unità di superficie nel caso di elementi bidimensionali (esempio: kg/cm²).

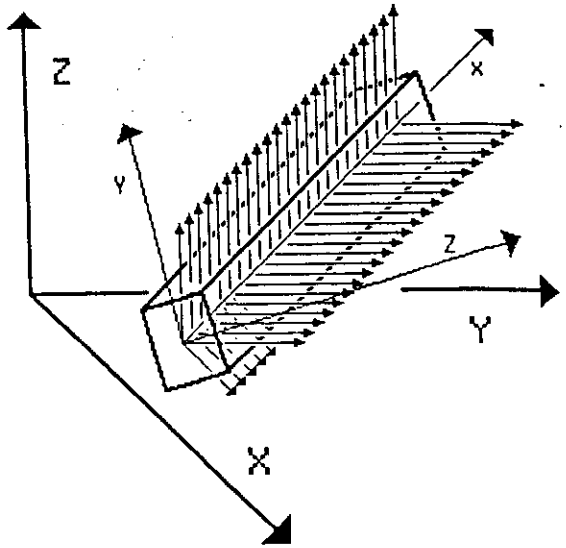


La finestra di dialogo per l'assegnazione del carico uniforme

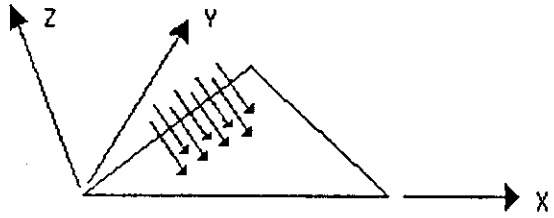
Carico uniforme nel riferimento locale su un elemento monodimensionale



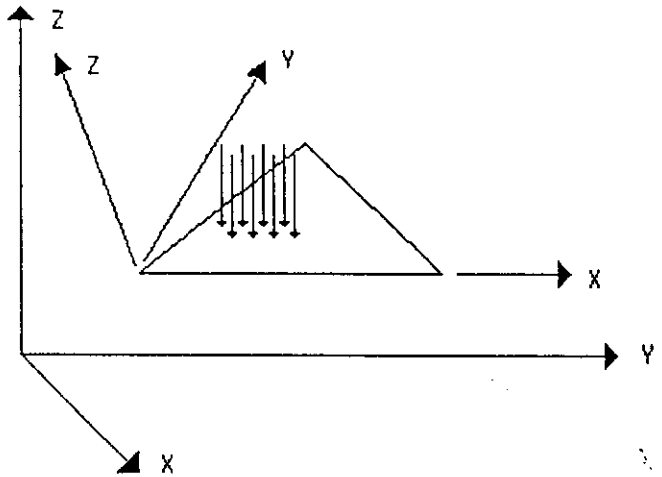
Carico uniforme nel riferimento globale su un elemento monodimensionale

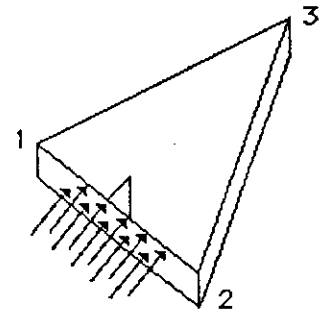


Carico uniforme nel riferimento locale su un elemento bidimensionale



Carico uniforme nel riferimento globale su un elemento bidimensionale





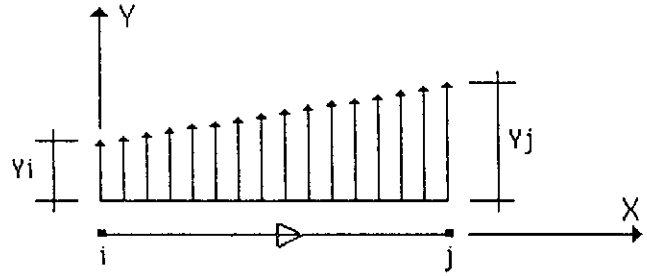
Nel caso di elementi **Assialsimmetrico** e **Deformazione piana** il carico uniformemente distribuito nel riferimento locale è ammesso per la sola componente Y ed è inteso come una pressione (esempio: kg/cm²) esercitata sul lato 1-2 (il primo lato ad essere tracciato e che viene contrassegnato con la freccia di selezione).

Questo tipo di carico è valido per tutti gli elementi bidimensionali (con le differenze già viste in precedenza per gli elementi Assialsimmetrico e Deformazione piana).
E' valido anche per l'elemento Trave.
L'elemento Winkler accetta questo carico solo nella componente Y locale ovvero Z globale.

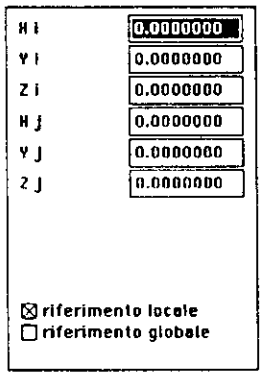
✓ ☒ **Trapezoidale** Il carico trapezoidale è un carico ad andamento lineare assegnato secondo le componenti (X, Y, Z) di carico unitario, nel riferimento locale o globale, ai due estremi dell'elemento.
Il carico trapezoidale è un carico per unità di lunghezza (esempio: kg/cm).

> Questo tipo di carico è accettato dal solo elemento Trave.

Sistema di riferimento e notazione per il carico trapezoidale

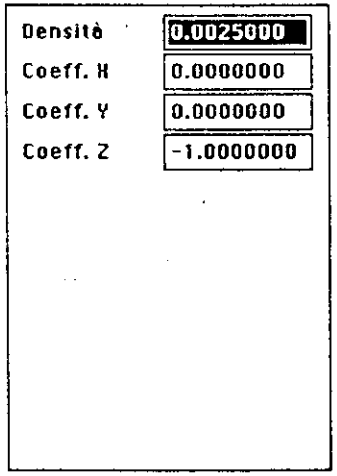


Il dialogo per l'assegnazione del carico trapezoidale



✓ ☒ **Peso proprio** Il carico dovuto al peso proprio dell'elemento può essere assegnato in modo diretto provvedendo il programma a trasformarlo secondo opportune componenti di carico uniforme.
Questo carico viene assegnato tramite la densità del materiale (esempio: kg/cm^3) e la direzione dell'accelerazione di gravità che consente di determinare la direzione secondo la quale si vuole che agisca il peso proprio.

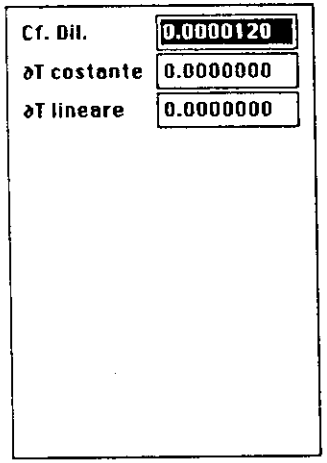
Dialogo per l'assegnazione del peso proprio dell'elemento



> Questo tipo di carico è valido per tutti gli elementi bidimensionali e per l'elemento Trave.
> E' valido anche per l'elemento Asta per il quale però il peso proprio viene considerato concentrato nei nodi di estremità.
> E' valido anche per l'elemento Winkler ma solo per la componente Z dell'accelerazione di gravità.

✓ ☒ **Termico**

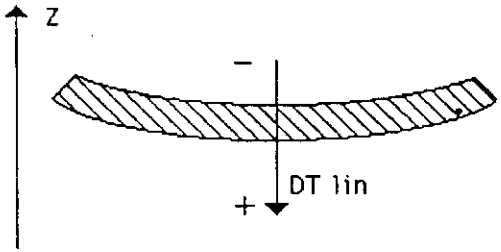
Si intende per carico termico una differenza di temperatura costante per tutto l'elemento oppure che vari linearmente tra due facce dell'elemento.
Questo carico viene assegnato tramite il coefficiente di dilatazione termica del materiale e la differenza di temperatura costante e/o lineare.
Il coefficiente di dilatazione termica α è la dilatazione lineare di un materiale per l'aumento di temperatura unitario.
L'unità di misura del coefficiente di dilatazione termica è l'inverso di una temperatura (1/C°).
Pertanto va assegnato con riferimento all'unità di misura della temperatura che si intende adottare.
Ad esempio, nel caso dell'acciaio si ha α=0.000012 1/C° con riferimento alla temperatura misurata appunto in gradi centigradi.
Come si vede, il coefficiente di dilatazione termica è indipendente dall'unità di misura adottata per le lunghezze.



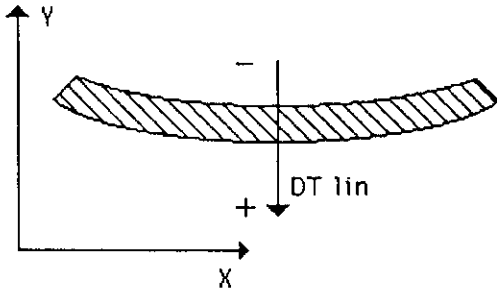
Dialogo per l'assegnazione del carico termico

La differenza di temperatura costante è accettata da tutti gli elementi bidimensionali e dagli elementi Trave ed Asta.
La differenza di temperatura lineare è accettata dagli elementi Piastra, Guscio. E' accettabile anche dall'elemento Trave a sezione rettangolare dove la differenza si intende secondo l'asse Y locale soltanto.

Verso della differenza di temperatura lineare negli elementi bidimensionali

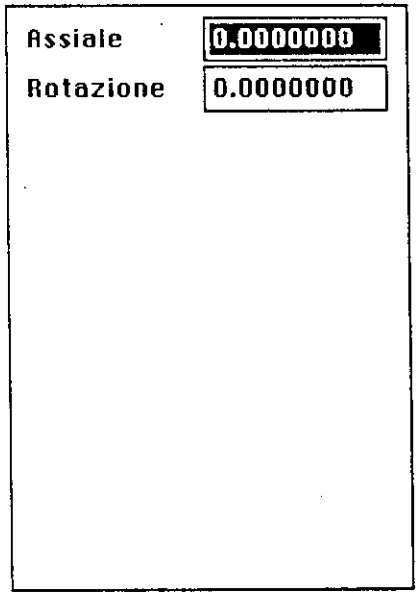


Verso della differenza di temperatura lineare nell'elemento Trave



✓ ☒ **Spostamenti**

Uno spostamento assiale o rotazionale può essere imposto ad un nodo tramite un elemento Boundary connesso al nodo ed orientato in direzione dello spostamento che si intende imporre.
Quindi questo tipo di carico può essere assegnato solo agli elementi Boundary.
Il sistema di riferimento è quello locale dell'elemento.
Le rotazioni sono sempre misurate in radianti.



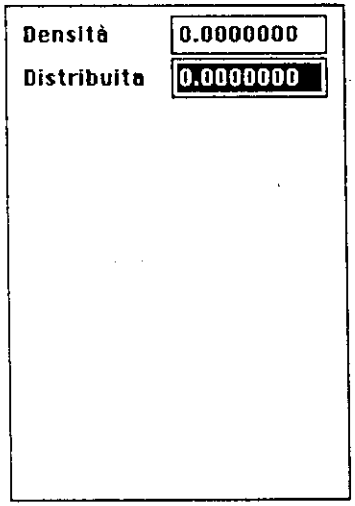
Dialogo per l'assegnazione degli spostamenti imposti

Per la valutazione degli spostamenti imposti è necessario assegnare all'elemento Boundary un'opportuna rigidezza, generalmente molto elevata.

Ogni elemento può essere dotato di massa propria o di massa su di esso distribuita.
Si ricorda che il modello di analisi dinamica usato da MacSap è a masse concentrate (lumped) e quindi le masse associate all'elemento vengono concentrate ai nodi dell'elemento associandole a tutti e tre i gradi di libertà traslazionali del nodo.
Le masse sono attive o meno per i tre gradi di libertà traslazionali in funzione delle abilitazioni assegnate tramite il dialogo delle **Costanti dinamiche**.

Per assegnare le masse sugli elementi procedere come segue:

1. Selezionare l'opzione **Carichi** del menu **Assegnazioni**.
2. Selezionare uno o più elementi.
   Al termine della selezione si apre la finestra di dialogo.
3. Selezionare nella finestra di dialogo l'opzione **Masse**.
   Tale selezione viene evidenziata dal contrassegno ☒. .
   La parte di destra del dialogo verrà configurata per consentire l'assegnazione delle masse degli elementi.
4. Assegnare i valori voluti e quindi confermare l'accettazione tramite il bottone **Continua**.

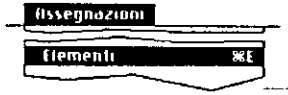


Dialogo per l'assegnazione delle masse sugli elementi

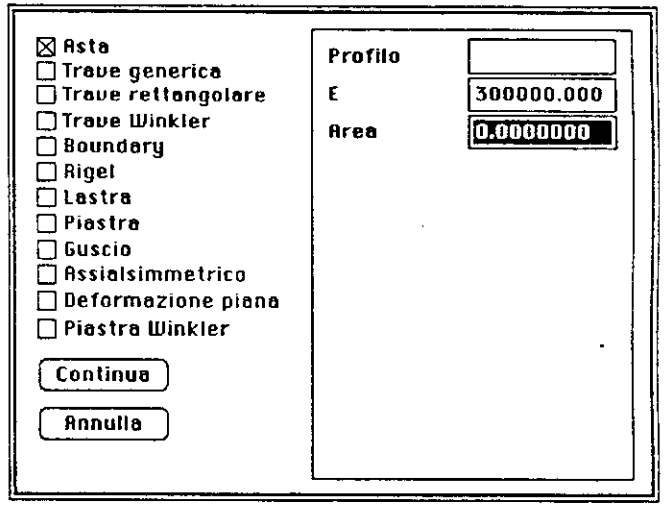
Assegnare la densità di massa (massa per unità di volume) per ottenere che venga considerata la massa propria dell'elemento.
La massa uniformemente distribuita deve essere assegnata come massa per unità di lunghezza (elementi monodimensionali) o unità di superficie (elementi bidimensionali).

Si ricorda che la massa corrispondente ad un carico agente sull'elemento si ottiene dividendo il carico per l'accelerazione di gravità.

Gli elementi che accettano l'assegnazione delle masse sono tutti gli elementi bidimensionali e gli elementi Trave e Asta.



Per ciascun elemento è necessario definire il tipo di elemento finito ed i parametri che definiscono tale tipo.
I tipi di elementi finiti disponibili sono tutti impiegabili per strutture tridimensionali e sono tutti tra di loro compatibili.



Libreria di elementi finiti a disposizione

1. Asta
   Elemento a 2 nodi a sezione costante dotato di cerniere sferiche alle estremità, atto a trasmettere forze assiali, usato per strutture reticolari.

2. Trave generica
   Elemento a 2 nodi a sezione costante di forma generica descritta tramite le sue caratteristiche statiche; atto a trasmettere forze assiali, di taglio e di momento, usato per strutture intelaiate.

3. Trave rettangolare
   Elemento a 2 nodi a sezione costante atto a trasmettere forze assiali, taglianti e momenti torcenti.
   La sezione è rettangolare ed è descritta tramite i due lati nel riferimento locale.
   Elemento per strutture intelaiate in calcestruzzo armato.

4. Trave Winkler
   Elemento rettilineo a 2 nodi a sezione costante a ⊥, degenerabile in rettangolo.
   Elemento vincolato al suolo tramite un vincolo elastico lineare continuo. Usato per travi di fondazione.

5. Boundary
   Elemento rettilineo a 2 nodi dotato di rigidezza assiale e rotazionale.
   Usato per modellare vari tipi di vincolo elastico.

6. Rigel
   Elemento rettilineo a 2 nodi infinitamente rigido.
   Usato per modellare un legame infinitamente rigido tra elementi Trave.

7. Lastra
   Elemento a 3 o 4 nodi di spessore costante per stati di sforzo piano. Usato per strutture caricate nel loro stesso piano.

8. Piastra
   Elemento a 3 o 4 nodi di spessore costante dotato di rigidezza flessionale. Usato per modellare elementi inflessi.

9. Guscio
   Elemento a 3 o 4 nodi di spessore costante dotato sia di rigidezza flessionale che membranale.
   Usato per modellare elementi in cui i due stati di tensione siano contemporaneamente presenti.

10. Assialsimmetrico
    Elemento a 3 o 4 nodi che rappresenta un settore di un radiante di una struttura a simmetria radiale.
    Usato per elementi a simmetria radiale come vasche e serbatoi circolari.

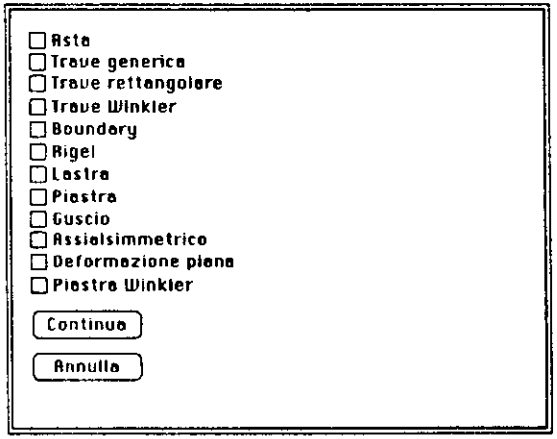
11. Deformazione piana
    Elemento a 3 o 4 nodi a spessore unitario per stati di deformazione piana.
    Usato dove lo spessore è prevalente sulle altre dimensioni, come nell'analisi delle sezioni di condotte.

12. Piastra Winkler
    Elemento a 3 o 4 nodi a spessore costante di rigidezza sia membranale che flessionale vincolato al suolo tramite un vincolo elastico lineare continuo.
    Usato per modellare fondazioni realizzate come piastre su suolo elastico.

Per l'assegnazione degli elementi procedere come segue:

1. Selezionare l'opzione **Elementi** dal menu **Assegnazioni**.
2. Selezionare uno o più elementi.
3. Al termine della selezione si apre la finestra di dialogo.
   Selezionare nella finestra di dialogo il tipo di elemento voluto.
   Tale selezione viene evidenziata dal contrassegno ☒.
   La parte di destra del dialogo viene configurata per consentire l'assegnazione delle caratteristiche dell'elemento prescelto.
4. Assegnati i valori, confermare l'assegnazione tramite il bottone **Continua**.

Dialogo per l'assegnazione degli elementi

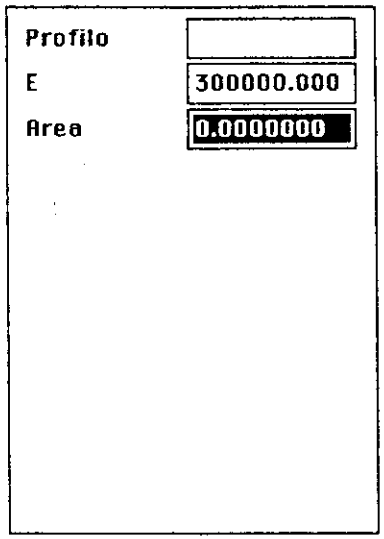


L'opzione **Mostra dati** del menu **Funzioni** consente di rappresentare graficamente i tipi di elementi assegnati e, per alcuni, anche le loro caratteristiche.
Consente inoltre una rappresentazione solida della struttura.

☒ **Asta**

L'elemento Asta risulta completamente definito se sono assegnati il modulo di elasticità e l'area della sezione.

Dialogo per l'assegnazione delle caratteristiche dell'elemento Asta

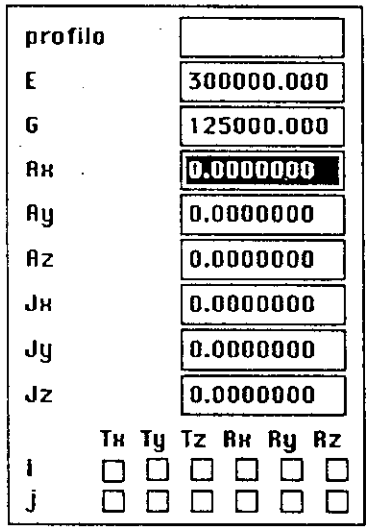


L'area della sezione può anche essere derivata da un sagomario predisposto (vedi Appendice B: "Files ausiliari di MacSap").
In questo caso assegnare il nome del profilo.
Se l'accesso al sagomario è stato corretto, l'area verrà riportata nel campo corrispondente.

Poiché l'elemento Asta ha rigidezza solo per le traslazioni, devono essere vincolati i gradi di libertà rotazionali di tutti i nodi in cui convergano solo elementi di tipo Asta.

☒ Trave generica

Questo tipo di trave ha una sezione generica che deve quindi essere descritta tramite i valori statici della sezione.



Dialogo per l'assegnazione dell'elemento Trave generica

I termini del dialogo hanno il seguente significato:

profilo	nome del profilo
E	modulo di elasticità
G	modulo di elasticità tangenziale
Ax	area della sezione trasversale
Ay	area al taglio per le forze secondo l'asse locale y
Az	area al taglio per le forze secondo l'asse locale z
Jx	momento di inerzia torsionale attorno all'asse locale x
Jy	momento di inerzia torsionale attorno all'asse locale y
Jz	momento di inerzia torsionale attorno all'asse locale z

I valori devono essere assegnati con riferimento al sistema locale.

Se le aree di rigidezza al taglio non vengono assegnate la deformabilità al taglio non viene considerata.

> ⚠ Perché l'assegnazione sia accettata, e cioè sufficiente, devono essere assegnati almeno i due moduli di elasticità, l'area della sezione ed i tre momenti d'inerzia.

Le caratteristiche della sezione possono essere assegnate tramite lettura di un sagomario residente su un file di testo.
Il formato di tale file di testo è descritto nell'Appendice B.
Assegnare il nome del profilo voluto seguito da un cambiamento di campo (tasto <enter> o <tab>).
Se l'accesso al sagomario è stato corretto tutti i valori letti dal sagomario saranno riportati nel dialogo.
Qualora il programma non trovi il file contenente il sagomario, ne richiede nome e posizione nel modo standard del Macintosh.
Qualora l'assegnazione venga annullata o l'accesso al file non sia corretto, i valori non vengono assegnati ed il nome del profilo assegnato viene cancellato.

L'elemento trave trasferisce ai nodi cui è connesso rigidezze per tutti e sei i gradi di libertà.
Può essere utile che per alcuni di questi gradi di libertà non venga trasferita alcuna rigidezza: ciò significa che quel certo grado di libertà non è più legato al nodo ma è libero.
Ciò consente di attivare dei vincoli interni tra elementi trave di qualsiasi tipo.

Questa possibilità si realizza "svincolando" i gradi di libertà Tx, Ty, Tz, Rx, Ry ed Rz per i due nodi **i** o **j**.

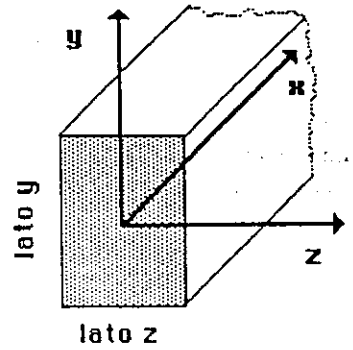
	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
i	☐	☐	☐	☐	☐	☐
j	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Per fare ciò selezionare la casella corrispondente nella finestra di dialogo.
Le caselle contrassegnate ☒ sono relative a gradi di libertà svincolati.

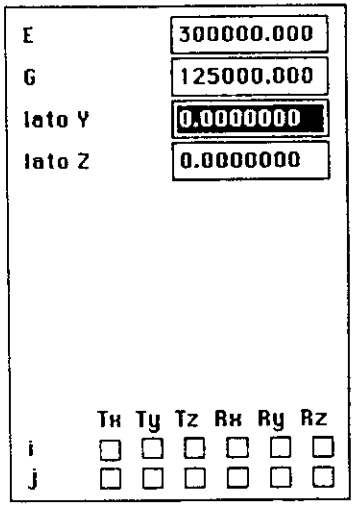
> ⚠ E' possibile che vengano svincolati gradi di libertà che rendono internamente labile la struttura, ad esempio se si svincola la rotazione attorno all'asse locale X per entrambi gli estremi (Tx_i e Tx_j).

☒ **Trave rettangolare** Questo tipo di trave ha sezione rettangolare definita tramite la misura dei due lati nel riferimento locale dell'elemento.

Definizione della sezione tramite le misure dei lati nel riferimento locale dell'elemento



Finestra di dialogo per l'assegnazione dei dati della trave rettangolare



I termini del dialogo hanno il seguente significato:

E	modulo di elasticità
G	modulo di elasticità tangenziale
lato y	lato nella direzione dell'asse locale y
lato z	lato nella direzione dell'asse locale z

Il programma provvede a calcolare i valori statici della sezione.
In particolare l'area a taglio A_t è calcolata dall'area A della sezione come:

$$A_t = A/K$$

dove $K = (12 + 11v)/10\ (1+v)$.

L'inerzia torsionale J_x è data da:

$$J_x = \beta h b^3$$

dove $\beta = 1/3 - 0.21\ (b/h)\ (1-b^4/12\ h^4)$

Anche per la trave rettangolare è possibile utilizzare vincoli interni. Fare riferimento alla Trave generica per le modalità di assegnazione.

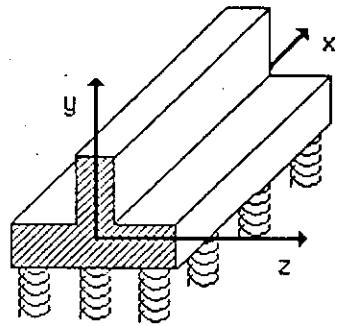
L'assegnazione è accettata in quanto sufficiente se sono assegnati i moduli di elasticità ed i due lati della sezione.

Sf assiale
Trasm. Taglio - ~~[illegible]~~ y e z
Mom. Torcente

☒ Trave Winkler

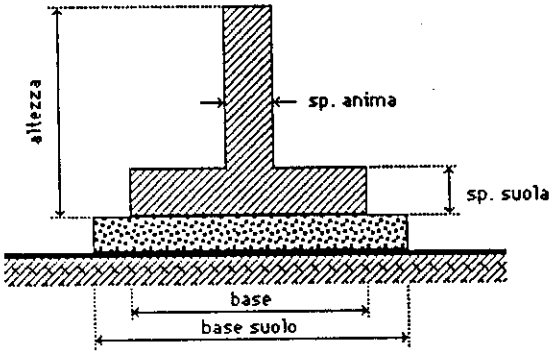
L'elemento trae il nome dal modello elastico del suolo, dovuto a Winkler, impiegato in questo elemento.
La Trave Winkler ha sezione a ⊥ degenerabile in sezione rettangolare.

L'elemento Trave Winkler

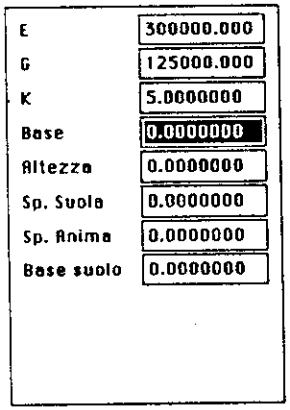


L'elemento deve essere orizzontale.
L'asse locale Y è sempre assunto parallelo all'asse globale Z.

Significato dei termini usati nell'assegnazione della sezione



Dialogo per l'assegnazione dell'elemento Trave Winkler



I termini del dialogo hanno il seguente significato:

- **E** modulo di elasticità
- **G** modulo di elasticità tangenziale
- **K** coefficiente di sottofondo del suolo

Per assegnare una sezione rettangolare porre lo spessore della suola e lo spessore dell'anima pari a zero.

Il momento di inerzia torsionale è calcolato con la formula di De Saint-Venant:

$$J_t = A^4/40\ J_p$$

Valori bassi del coefficiente di sottofondo possono introdurre malcondizionamenti nella matrice dinamica.

L'elemento è vincolato al suolo tramite un vincolo elastico lineare continuo agente per le traslazioni verticali e per le rotazioni assiali.
Quindi l'elemento non ha rigidezza per traslazioni secondo le direzioni globali X ed Y e per le rotazioni intorno all'asse globale Z.
Pertanto i corrispondenti gradi di libertà devono essere vincolati.

Vincolo tipo del nodo in cui concorrono elementi Trave Winkler

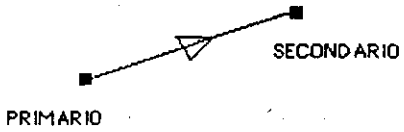
1,1,0,0,0,1

Si ricorda che la pressione di contatto **p** si ottiene dall'abbassamento **d** tramite la relazione: p=dk, dove **k** è il coefficiente di sottofondo.

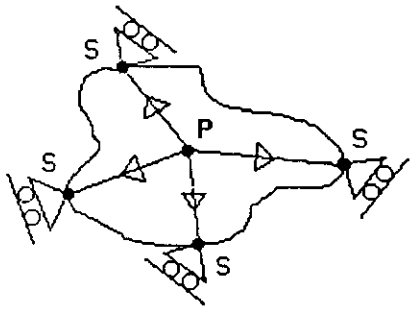
L'assegnazione è accettata in quanto sufficiente solo se si sono assegnati i due moduli di elasticità, la base, l'altezza e la base di appoggio al suolo.

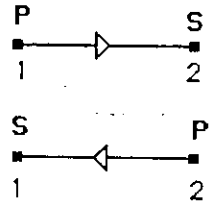
☒ Rigel

Tramite l'elemento Rigel è possibile costringere un nodo della struttura (nodo secondario) a muoversi secondo relazioni geometriche dipendenti da un altro nodo della struttura (nodo primario).

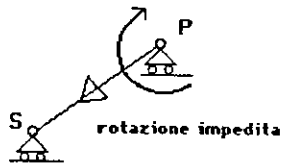


L'elemento Rigel consente la conservazione dei rapporti cinematici tra elementi flessibili connessi da elementi molto rigidi.





Il nodo primario (P) ed il nodo secondario (S) sono definiti all'atto del tracciamento. Il nodo primario è quello di partenza, il secondario quello d'arrivo.

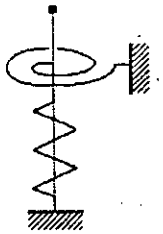


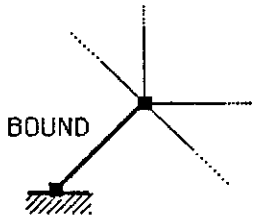
Nell'uso dell'elemento Rigel si deve tener conto delle seguenti osservazioni:

1. Allo stesso nodo primario possono essere connessi più nodi secondari tramite elementi Rigel.
2. I vincoli assegnati ai nodi secondari vengono trasferiti al nodo primario.
   Nel caso di più vincoli di un sistema rigido possono derivare vincoli anche alle rotazioni.
3. I nodi secondari non possono essere nodi del sistema master-slave.
4. Il nodo secondario dell'elemento Rigel può essere connesso solo ad elementi Trave.
5. Il massimo numero di elementi Rigel è 1000.
6. Un nodo secondario non può a sua volta essere un nodo primario.
7. Un nodo secondario non può essere secondario di un altro nodo primario.
8. I due estremi di un elemento elastico non possono essere connessi ad uno stesso nodo tramite elementi Rigel.
9. I carichi e le masse concentrate nei nodi secondari non vengono presi in considerazione.
10. I carichi e le masse distribuite di un elemento Trave connesso al nodo secondario di un elemento Rigel vengono trasferitre nel nodo primario dello stesso elemento Rigel.

Per l'assegnazione dell'elemento Rigel è sufficiente la selezione del tipo dell'elemento. Non è necessaria alcuna altra assegnazione di valori numerici.

☒ Boundary





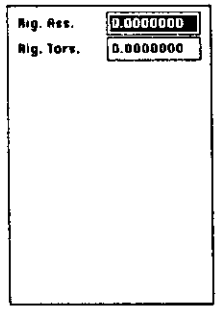
Dialogo per l'assegnazione dei dati dell'elemento Boundary

L'elemento Boundary è dotato di rigidezza assiale lineare e di rigidezza rotazionale lineare.

L'elemento Boundary è impiegato per definire delle particolari condizioni al contorno quali:
1. Spostamenti imposti.
2. Valutazione delle reazioni nei vincoli.
3. Vincoli elastici.
4. Vincoli inclinati.

L'elemento Boundary agisce su un nodo della struttura mentre generalmente l'altro estremo dell'elemento è connesso ad un nodo vincolato al suolo con un incastro.

Per ogni nodo sono ammessi più elementi Boundary.



I termini del dialogo hanno il seguente significato:

Rig.Ass. rigidezza assiale
Rig.Tors. rigidezza torsionale

L'assegnazione è accettata in quanto sufficiente se almeno una delle due rigidezze non è nulla.

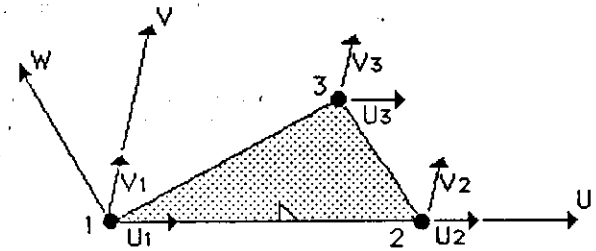
Nell'uso dell'elemento Boundary è opportuno tenere presente quanto segue:

1. E' opportuno che gli elementi Boundary siano allineati con le direzioni globali per evitare elevati termini fuori-diagonale che potrebbero condurre a malcondizionamenti nella matrice.
2. Con l'elemento Boundary si introducono delle elevate "rigidezze artificiali" che possono generare malcondizionamenti della matrice.
3. Nell'analisi dinamica è vivamente sconsigliato l'uso di elementi Boundary.
4. Gli spostamenti imposti vengono ignorati nell'analisi dinamica mentre la "rigidezza artificiale" apportata dall'elemento Boundary altera il comportamento della struttura.

☒ Lastra

Elemento piano a 3 o a 4 nodi a spessore costante per stati di sforzo piano.
L'andamento dello sforzo nell'elemento è costante.
Il materiale è isotropo.
L'elemento è dotato di due gradi di libertà traslazionali per nodo.

Sistema di riferimento locale e gradi di libertà dell'elemento Lastra



L'elemento è impiegato in strutture in cui lo spessore sia piccolo rispetto all'estensione (lastre e membrane) comunque disposte nello spazio tridimensionale.

Dialogo per l'assegnazione dei dati dell'elemento Lastra

I termini del dialogo hanno il seguente significato:

E	modulo di elasticità
Poisson	coefficiente di Poisson
Spessore	spessore costante dell'elemento

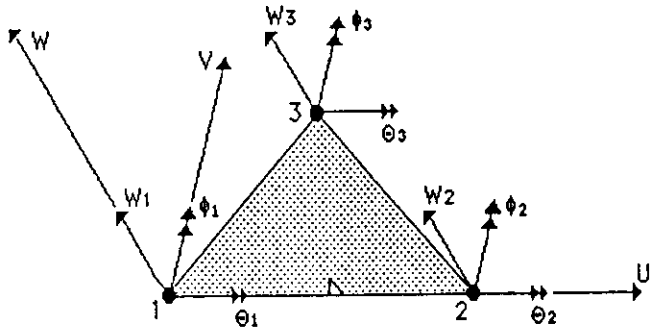
L'elemento Lastra ha due gradi di libertà per nodo (traslazioni X ed Y locali) ovvero non trasferisce alcuna rigidezza per gli altri gradi di libertà.
Pertanto tali gradi di libertà, per i quali la rigidezza è nulla, devono essere vincolati.
Per una lastra sul piano XY, ad esempio, il vincolo del generico nodo in cui concorrano elementi lastra complanari dovrà essere:

`0,0,1,1,1,1`

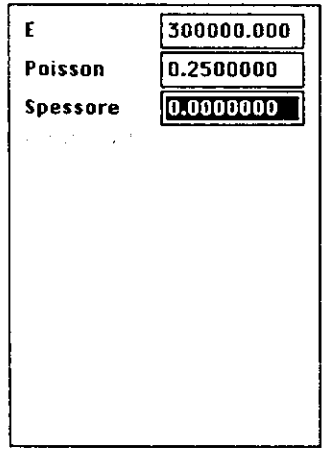
☒ Piastra

Elemento piano a 3 o a 4 nodi a spessore costante per piastre sottili inflesse con deformazioni taglianti trascurabili.
L'andamento dello sforzo flettente nell'elemento è lineare.
L'elemento a 4 nodi è ottenuto per assemblaggio di 4 elementi triangolari con eliminazione per condensazione statica dei gradi di libertà del quinto nodo interno.
Il materiale è isotropo.
L'elemento trova impiego nella modellazione di piastre sottili anche curve comunque disposte nello spazio tridimensionale.

Sistema locale di riferimento e gradi di libertà dell'elemento Piastra



Dialogo per l'assegnazione dei dati dell'elemento Piastra



I termini del dialogo hanno il seguente significato:

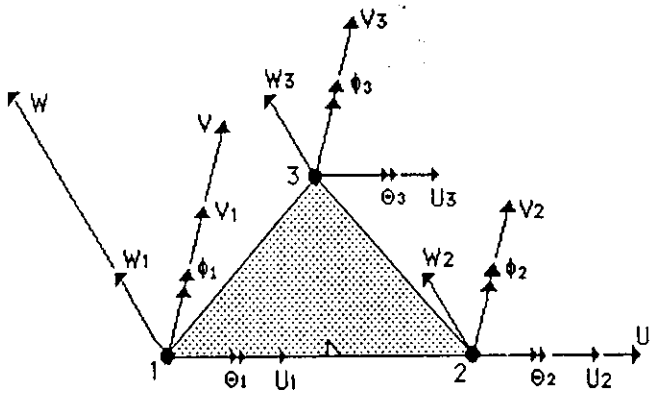
E	modulo di elasticità
Poisson	coefficiente di Poisson
Spessore	spessore costante dell'elemento

L'elemento ha 3 gradi di libertà per nodo (traslazione Z locale e rotazioni X ed Y locali) ovvero non trasferisce alcuna rigidezza per gli altri gradi di libertà.
Pertanto tali gradi di libertà, per i quali la rigidezza è nulla, devono essere vincolati.
Per una piastra sul piano XY, ad esempio, il vincolo del generico nodo in cui concorrano elementi piastra complanari sarà il seguente:

1,1,0,0,0,1.

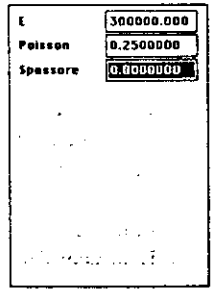
☒ Guscio

Elemento piano a 3 o a 4 nodi di spessore costante costituito dalla sovrapposizione dell'elemento Lastra e dell'elemento Piastra.
Il materiale è isotropo.
L'elemento è impiegato per gusci sottili comunque disposti nello spazio tridimensionale.



Sistema di riferimento e gradi di libertà dell'elemento Guscio

Dialogo per l'assegnazione dei dati dell'elemento Guscio



I termini del dialogo hanno il seguente significato:

E	modulo di elasticità
Poisson	coefficiente di Poisson
Spessore	spessore costante dell'elemento

Affinché l'assegnazione venga accettata devono essere assegnati il modulo di elasticità e lo spessore.

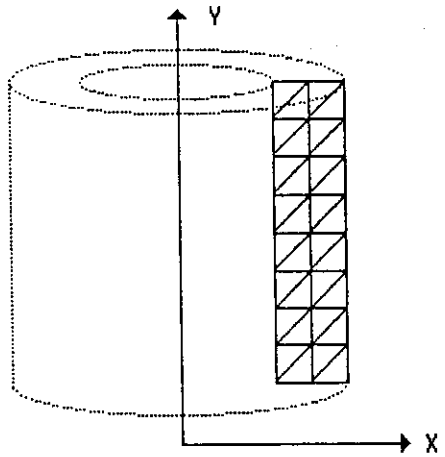
L'elemento Guscio ha 5 gradi di libertà per nodo.
Non trasferisce rigidezza per la rotazione intorno all'asse locale Z.
Tale grado di libertà deve pertanto essere vincolato.
Per un elemento posto, ad esempio, nel piano XY, il vincolo del generico nodo in cui concorrano elementi Guscio complanari sarà il seguente:

0,0,0,0,0,1

Per Gusci assemblati in modo che la curvatura non sia piccola non è necessario vincolare la rotazione normale al piano dell'elemento.

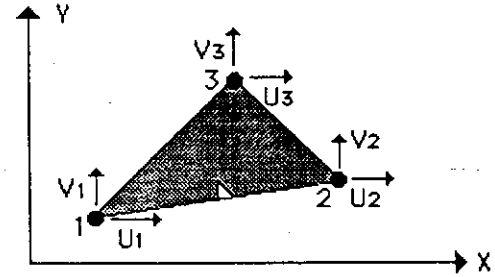
☒ Assialsimmetrico Elemento piano a 3 o a 4 nodi che rappresenta un settore di un radiante di una struttura a simmetria radiale.
L'andamento delle tensioni è costante nell'elemento.
Il materiale è isotropo.
Questo elemento è impiegato per modellare strutture solide ottenute per rotazione delle quali si sfrutta la simmetria radiale per analizzare solo un settore della struttura dell'ampiezza di un radiante.
Usato per l'analisi di vasche, serbatoi, alberi di trasmissione.

⚠ L'elemento deve essere tracciato esclusivamente nel quadrante positivo del piano XY.
L'asse di simmetria è l'asse globale Y.
Il verso di tracciamento deve essere antiorario.
L'uso di questo elemento in combinazione con altri elementi richiede molta cautela.
I carichi ammessi sono solo quelli a simmetria radiale.

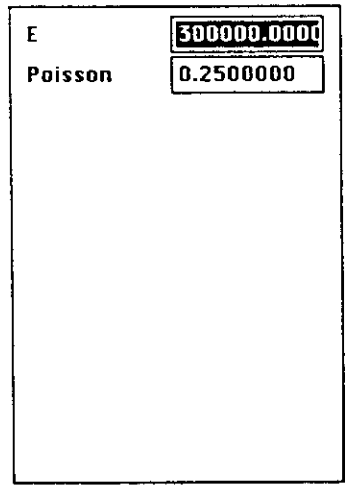


L'elemento Assialsimmetrico consente l'analisi di strutture solide dotate di simmetria radiale

Sistema di riferimento e gradi di libertà dell'elemento Assialsimmetrico



Dialogo per l'assegnazione dei dati per l'elemento Assialsimmetrico



I termini del dialogo hanno il seguente significato:

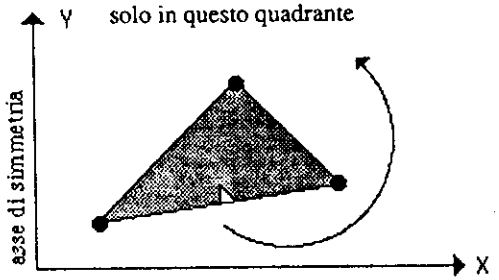
E modulo di elasticità
Poisson coefficiente di Poisson

Affinché l'assegnazione sia accettata deve essere assegnato il modulo di elasticità.

L'elemento è dotato di due gradi di libertà per nodo (traslazioni secondo X ed Y globali).
Per tutti gli altri gradi di libertà la rigidezza è nulla e pertanto devono essere vincolati.
I nodi ove concorrono elementi Assialsimmetrico devono essere vincolati come segue:

0,0,1,1,1,1

Posizionamento ammissibile e verso di tracciamento dell'elemento Assialsimmetrico

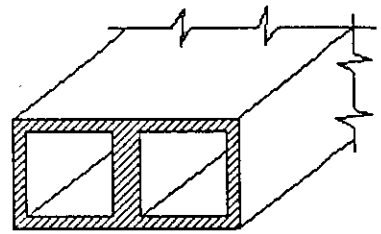


☒ **Deformazione piana** Elemento piano a 3 o a 4 nodi a spessore unitario per stati di deformazione piana.
L'andamento delle tensioni è costante nell'elemento.

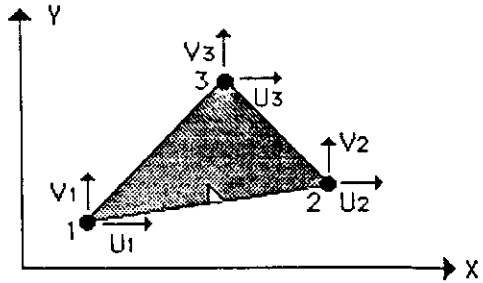
L'elemento deve essere tracciato esclusivamente nel piano XY ed in senso antiorario.
L'elemento ha spessore unitario.

L'elemento Deformazione piana trova impiego nelle strutture nelle quali lo spessore sia prevalente rispetto alle altre dimensioni della struttura.
Si considererà cioè impedita la deformazione nello spessore e pertanto lo stato di deformazione si considera piano.

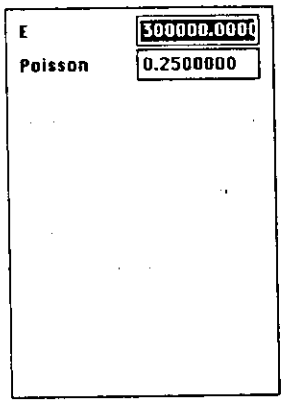
L'elemento Deformazione piana trova impiego in strutture nelle quali lo spessore sia prevalente rispetto alle altre dimensioni



Sistema di riferimento e gradi di libertà dell'elemento Deformazione piana



Dialogo per l'assegnazione dei dati dell'elemento Deformazione piana



I termini del dialogo hanno il seguente significato:

E modulo di elasticità
Poisson coefficiente di Poisson

Affinché l'assegnazione sia accettata deve essere assegnato il modulo di elasticità.

L'elemento è dotato di due gradi di libertà per nodo (traslazioni secondo X ed Y globali).
Per tutti gli altri gradi di libertà la rigidezza è nulla e pertanto devono essere vincolati.
I nodi ove concorrono elementi Deformazione piana devono essere vincolati come segue:

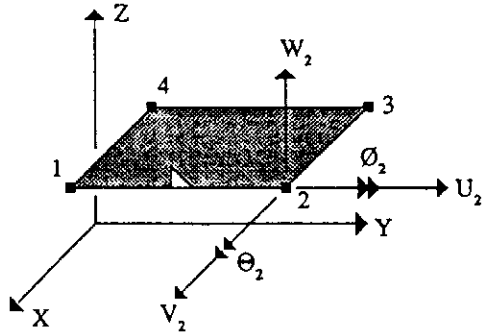
0,0,1,1,1,1

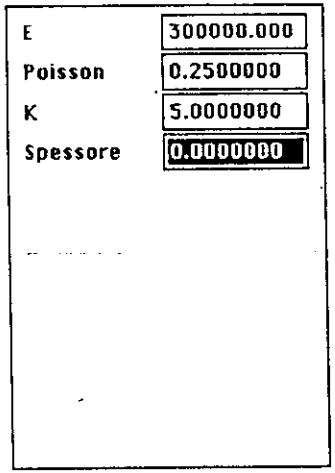
☒ Piastra Winkler Elemento piano a 3 o a 4 nodi a spessore costante ottenuto sovrapponendo all'elemento Guscio le rigidezze derivanti da un vincolo continuo dovuto ad un suolo elastico secondo il modello di Winkler.

L'elemento deve essere parallelo al piano XY e deve essere tracciato in senso antiorario.

Questo elemento è impiegato nella modellazione di piastre su suolo elastico.

Sistema di riferimento e gradi di libertà dell'elemento Piastra Winkler





Dialogo per l'assegnazione dei dati dell'elemento Piastra Winkler

I termini del dialogo hanno il seguente significato:

E	modulo di elasticità
Poisson	coefficiente di Poisson
K	coefficiente di sottofondo del suolo
Spessore	spessore costante dell'elemento

Affinché l'assegnazione sia accettata devono essere assegnati il modulo di elasticità, lo spessore ed il coefficiente di sottofondo.

L'elemento Piastra Winkler ha 5 gradi di libertà per nodo.
Non ha rigidezza per la rotazione intorno all'asse locale Z (che coincide con l'asse globale Z) e quindi questo grado di libertà deve essere vincolato.
Il vincolo del nodo in cui concorrano solo elementi Piastra Winkler deve pertanto essere il seguente:

0,0,0,0,0,1

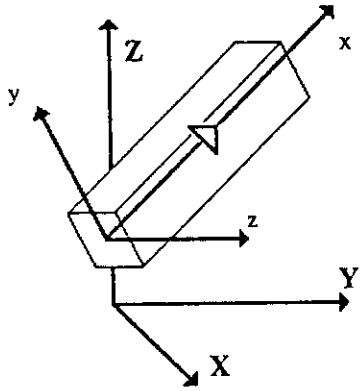
Nell'elemento viene considerata la rigidezza verticale del suolo e non quella orizzontale e pertanto si dovrà ricorrere egualmente ai consueti vincoli per evitare la labilità della piastra su suolo elastico.

Si ricorda che la pressione sul terreno si ottiene dal prodotto della deflessione per il coefficiente di sottofondo.

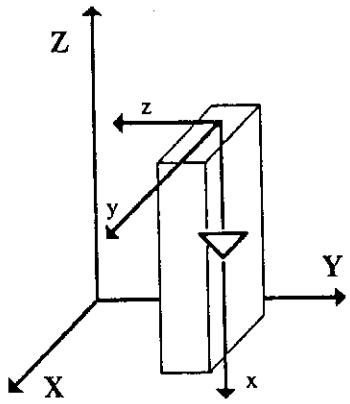
Assegnazioni

K Nodo

Il metodo del "nodo K" consente di orientare il sistema locale di riferimento rispetto a quello globale.
In MacSap, per evitare l'uso del nodo K per ogni elemento, esiste un orientamento di difetto (default) degli elementi.

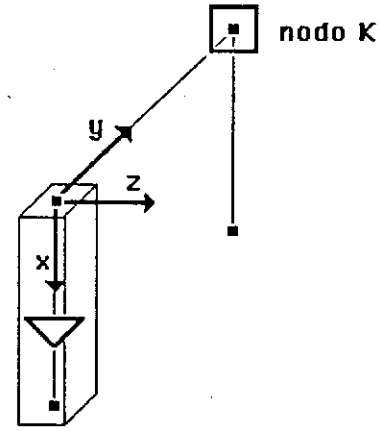


Orientamento di difetto per gli elementi non-verticali (il piano locale XY è parallelo all'asse globale Z)



Orientamento di difetto per gli elementi verticali (l'asse locale Y è parallelo all'asse globale X)

Qualora si desideri mutare l'orientamento di default, occorre indicare, per l'elemento voluto, l'orientamento dell'asse locale Y. Ciò si ottiene definendo un nodo (il cosiddetto "nodo K") che giace sul piano che contiene gli assi locali X ed Y.



L'orientamento del sistema di riferimento locale tramite il metodo del "nodo K"

Il nodo K è necessario, ove non si accetti l'orientamento di default, solo per gli elementi Trave.

Il nodo K

Per assegnare il nodo K ad un elemento procedere come segue:

1. Selezionare l'opzione **K nodo** del menu **Assegnazioni**.
2. Selezionare l'elemento voluto.
3. Selezionare il nodo che si desidera sia il "nodo K" dell'elemento.

A selezione avvenuta, i contrassegni sia dell'elemento che del nodo verranno automaticamente cancellati.

Qualora all'elemento sia già assegnato un nodo K, tale nodo verrà immediatamente contrassegnato appena si selezionerà l'elemento.

Per cambiare o annullare un nodo K già assegnato procedere come segue:

1. Selezionare l'elemento voluto.
2. Per cambiare il nodo K:
3. selezionare un nodo diverso da quello già assegnato.
   Per annullare il nodo K:
   selezionare nuovamente il nodo già assegnato.

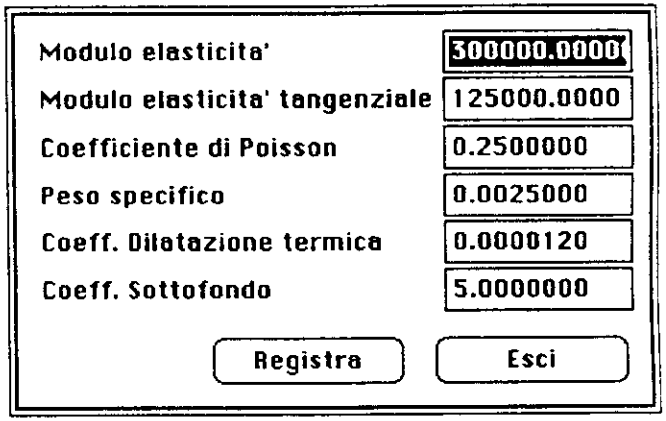
Vedi:

Per il controllo dell'orientamento del riferimento locale usare l'opzione **Mostra dati**.

Costanti generali

Le costanti generali sono i valori di difetto (default) che il programma propone durante le assegnazioni.
La funzione viene attivata tramite l'opzione **Valori default** del menu **Assegnazioni**.
I valori di default possono essere cambiati per rendere più comoda l'assegnazione.
Il bottone **Registra** consente di memorizzare i dati in modo che vengano riproposti all'avvio del programma.
Questi dati vengono automaticamente registrati nel documento della struttura quando questa viene registrata e vengono riletti insieme al documento.

Si ricorda che è possibile usare qualsiasi unità di misura purché le unità usate siano sempre congruenti e sempre le stesse in tutte le fasi del programma.



Dialogo dei valori di default usati nelle assegnazioni

Si ricorda che i moduli di elasticità ed il coefficiente di Poisson sono legati dalla relazione:

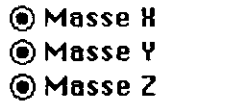
$$G = E/2\ (1 + v)$$

Non occorre comunque che tale relazione venga considerata durante le assegnazioni in quanto il modulo di elasticità G ed il coefficiente di Poisson v non vengono mai usati contemporaneamente dal programma.
Si sconsiglia di usare un valore del coefficiente di Poisson superiore a 0.49.

Nel dialogo delle Costanti dinamiche vengono indicati i valori che verranno usati nell'analisi dinamica.
La funzione viene attivata tramite l'opzione **Costanti dinamiche** del menu **Assegnazioni.**
L'analisi dinamica opera un'analisi modale e quindi impiega la tecnica dello spettro di risposta per l'analisi sismica.
I valori del numero di frequenze e l'abilitazione delle masse secondo i gradi di libertà traslazionali servono per l'analisi modale (periodi propri e modi di vibrare).
La direzione del sisma e le accelerazioni vengono invece impiegate nell'analisi con la tecnica dello spettro di risposta.
Qui di seguito si danno alcune informazioni sull'uso dei valori da assegnare in questo dialogo.

Frequenze da calcolare

Nell'analisi dinamica viene considerato un numero finito e piccolo di modi propri di vibrare presi in ordine decrescente di periodo proprio in quanto i periodi più brevi sono quelli che maggiormente contribuiscono alla risposta globale della struttura.
Tre modi di vibrare sono in genere sufficienti a descrivere il comportamento della struttura.
Se ne possono richiedere fino a un massimo di otto.



Abilitazione delle masse .

Nell'analisi dinamica di una struttura si considera un numero finito e piccolo di modi propri di vibrare.
Può essere pertanto opportuno evitare di considerare quei modi propri che non interessano l'analisi in corso.
Pertanto, se non si assegnano valori di massa a quei gradi di libertà che contribuiscono ai modi che non interessano, tali modi non vengono calcolati.

Ad esempio, nell'analisi sismica di una struttura regolare può essere opportuno tralasciare i modi di vibrare verticali della struttura.
Al contrario, se si vuole esaminare il comportamento della struttura per modi di vibrare verticali, è opportuno tralasciare quelli orizzontali.

Direzione sisma (gradi) 0.00000

Direzione sisma
Questo dato viene impiegato nell'analisi con la tecnica dello spettro di risposta.
Esso indica la direzione, in gradi sessagesimali a partire dall'asse globale X, dell'accelerazione sismica sul piano XY.

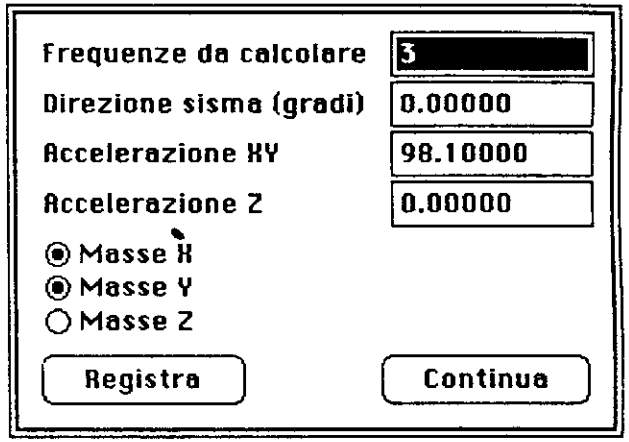
Accelerazione XY 98.10000

Accelerazione XY
Indica l'accelerazione sismica, alla base della struttura, nel piano XY.
Si ricorda che tale accelerazione è dettata dalla normativa in funzione del coefficiente di intensità sismica, dalla accelerazione di gravità e da altri fattori relativi alla struttura.

Accelerazione Z 0.00000

Accelerazione Z
Indica l'accelerazione sismica verticale eventualmente agente alla base della struttura (moto sismico sussultorio).
Il coefficiente di risposta per accelerazione in direzione Z è assunto sempre pari ad uno indipendentemente dal periodo proprio.
Qualora, insieme alla accelerazione in direzione Z, venga assegnata anche una accelerazione nel piano XY, i risultati delle due accelerazioni vengono cumulati.

Dialogo per l'assegnazione dei valori per l'analisi dinamica

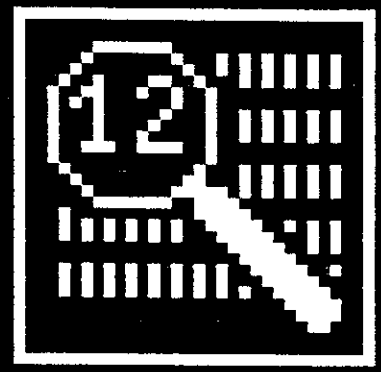


I valori assegnati vengono automaticamente registrati sul documento della struttura quando questo viene registrato e vengono riletti insieme al documento.

Il bottone **Registra** consente di registrare i valori in modo che vengano riproposti al lancio del programma.

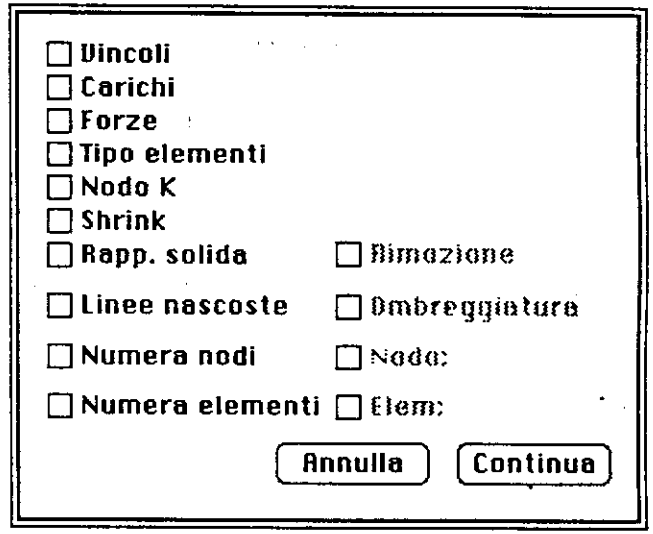
Sezione D

LA RAPPRESENTAZIONE DEI DATI



Mostra dati

Tramite l'opzione **Mostra dati** del menu **Funzioni** è possibile accedere ad una finestra di dialogo che consente la rappresentazione grafica dei dati.



Dialogo per la rappresentazione grafica dei dati

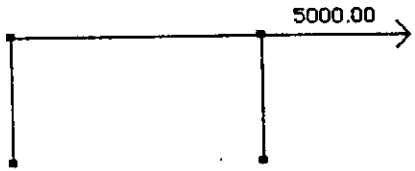
La rappresentazione dati è tematica nel senso che vengono rappresentati i tipi di dati voluti a scelta dell'utente al fine di favorire un controllo estremamente chiaro delle assegnazioni.
Per ottenere la rappresentazione voluta, selezionare nella finestra di dialogo l'opzione relativa e quindi confermarla tramite il bottone **Continua**.
Si ottiene la rappresentazione della struttura arricchita delle informazioni grafiche richieste.
Tutte le possibilità di trasformazione proiettiva dell'immagine e la stampa restano valide.

> La rappresentazione viene disabilitata tramite il dialogo selezionando il bottone **Annulla** oppure accedendo ad una nuova funzione incompatibile con la rappresentazione dei dati quali il disegno o l'assegnazione.

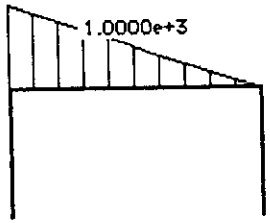
Le rappresentazioni possibili dei dati sono le seguenti:

Vincoli

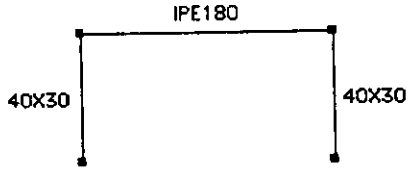
Forze nodali



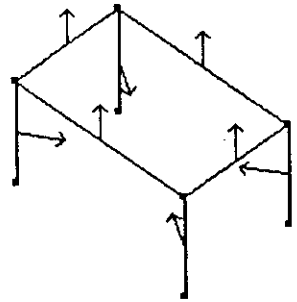
Carichi sugli elementi



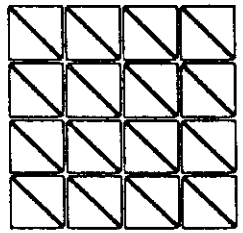
Tipo degli elementi



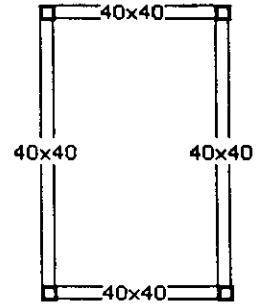
Riferimento locale



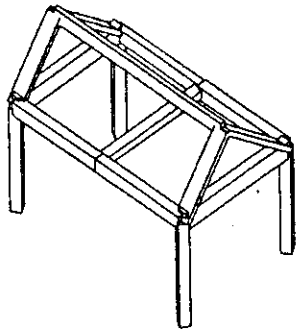
Shrink



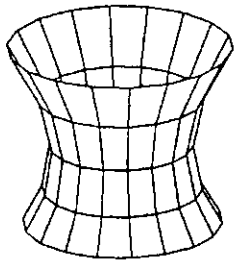
Rappresentazione solida per sezione



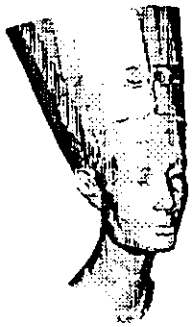
Rappresentazione solida con rimozione



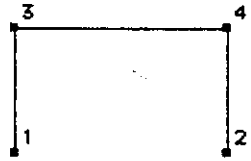
Rimozione delle linee nascoste



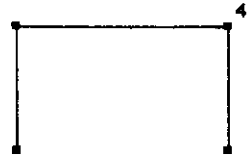
Ombreggiatura



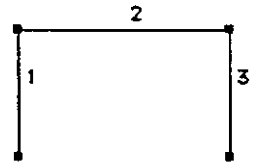
Numerazione dei nodi



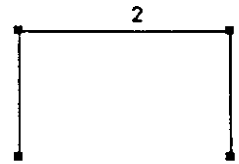
Numerazione di un nodo specifico



Numerazione degli elementi



Numerazione di uno specifico elemento



Vincoli

La rappresentazione dei vincoli consente di visualizzare sulla struttura dei simboli, in corrispondenza dei nodi vincolati, che indicano la presenza o il tipo di vincolo assegnato.

Rappresentazione dei vincoli

Poiché ogni nodo ha sei gradi di libertà che possono essere vincolati o meno, i tipi di vincolo del nodo corrispondenti a ciascuna combinazione di vincolo dei gradi di libertà sono 64.
L'uso di un così elevato numero di simboli non sarebbe di alcuna utilità pratica.
Pertanto si è fatto ricorso ad una rappresentazione differente se la struttura è vista in assonometria oppure in sezione.
Ciò consente una più agevole interpretazioni delle informazioni.

1. Struttura in assonometria
   Tutti i nodi per i quali almeno un grado di libertà risulta vincolato, sono contrassegnati con un triangolo.
2. Struttura in sezione
   Vengono considerati, alla fine della rappresentazione del tipo di vincolo, solo i gradi di libertà relativi al piano di sezione.
   Se, ad esempio, il piano di sezione è il piano XY, verranno considerati solo i gradi di libertà relativi alle traslazioni secondo X ed Y ed alla rotazione intorno all'asse Z.
   In questo modo il numero di tipi di vincolo possibili è 8 e quindi tali vincoli vengono agevolmente identificati tramite i simboli seguenti.

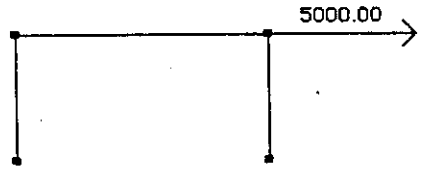
	T_1	T_2	R	
	1	1	1	incastro
	1	1	0	cerniera
	0	0	1	rotazione impedita
	0	1	0	carrello-cerniera T_1
	1	0	0	carrello-cerniera T_2
	0	1	1	carrello T_1
	1	0	1	carrello T_2
	0	0	0	libero

Nella tabella il codice numerico del vincolo è riferito alle due traslazioni T_1 e T_2 nel piano di sezione ed alla rotazione R intorno all'asse ortogonale al piano di sezione.

La rappresentazione dei vincoli effettivi per piani, oltre a rendere efficace e pratica la comprensione dei dati, consente un immediato riscontro con i diagrammi di deformazione e sollecitazione rappresentati anche essi per sezioni.

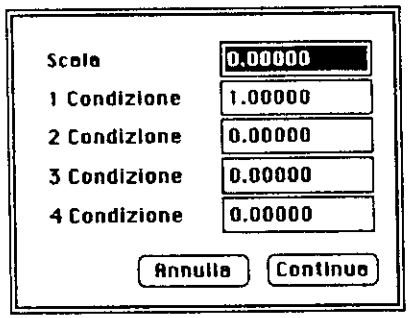
☒ **Forze**

La rappresentazione delle forze agenti sui nodi avviene sotto forma di vettori orientati proiettati in assonometria come la struttura.



Rappresentazione delle forze nodali

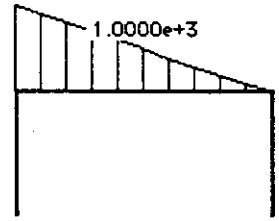
Vengono rappresentate solo le forze nodali e non i momenti agenti nei nodi o le masse.
Se la rappresentazione avviene in sezione il vettore della forza viene anche esso proiettato sul piano di sezione.
In corrispondenza dei vettori viene riportato il modulo del vettore. Tale valore numerico non viene riportato se il vettore è troppo corto e ciò al fine di evitare sovrapposizioni.
Dopo aver selezionato l'opzione nella finestra di dialogo e selezionato il bottone **Continua** una nuova finestra di dialogo consente di assegnare la scala di rappresentazione dei vettori ed i coefficienti moltiplicatori per le condizioni di carico.



Dialogo per l'assegnazione della scala di rappresentazione delle forze e delle condizioni di carico

☒ **Carichi**

I carichi agenti sugli elementi a 2 nodi vengono rappresentati tramite la componente del carico normale all'asse dell'elemento proiettata nel piano di sezione.
La rappresentazione avviene pertanto esclusivamente in sezione.



Rappresentazione dei carichi sugli elementi

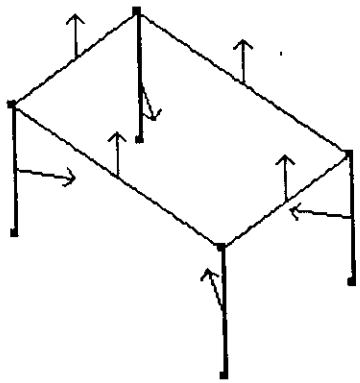
Dopo aver confermato la selezione dell'opzione, una nuova finestra di dialogo consente di assegnare la scala di rappresentazione dei diagrammi ed i coefficienti delle combinazioni di carico.

Tutti i tipi di carico vengono rappresentati come il carico equivalente, normale all'asse dell'elemento, che genera le stesse reazioni di incastro perfetto determinate dal carico assegnato.
In questo modo qualsiasi tipo di carico ha una rappresentazione univoca e cumulabile con gli altri tipi di carico.

In corrispondenza dei diagrammi di carico è indicato il valore del carico nel punto medio del diagramma.
Tale indicazione viene riportata solo se il diagramma è sufficientemente ingrandito per poter accogliere tale indicazione.

☒ **Nodo K**

La rappresentazione del riferimento locale viene effettuata per gli elementi a 2 nodi tramite la rappresentazione dell'asse locale Y di ciascun elemento.



Rappresentazione dell'asse locale Y

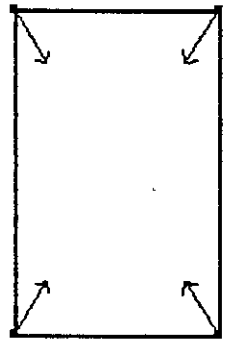
Per una più immediata comprensione della rappresentazione vengono rappresentati in colore rosso gli elementi per i quali è stato assegnato un nodo K.

L'asse Y è rappresentato solo in quegli elementi sufficientemente ingranditi da consentire un'adeguata visualizzazione dell'asse locale Y.

Nel caso di rappresentazione per sezione, soltanto per gli elementi il cui asse locale Y giace sul piano di sezione è possibile la rappresentazione di tale asse.

Per gli elementi differentemente orientati viene fatto uso del colore come segue:
colore blù: asse Y locale ortogonale al piano di sezione
colore rosso: asse Y locale inclinato rispetto al piano di sezione

Nel caso di pilastri, nella rappresentazione in sezione, l'eventuale asse locale Y viene rappresentato, in colore rosso, qualora sia stato per essi assegnato il nodo K.



Rappresentazione in sezione del nodo K per i pilastri

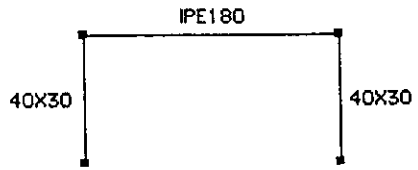
☒ Tipo elementi

La rappresentazione del tipo di elemento viene effettuata visualizzando, in corrispondenza degli elementi, una indicazione atta a identificare il tipo di elemento.

I tipi di elemento per i quali tale indicazione viene riportata sono i seguenti:

Trave rettangolare:	dimensioni della sezione nel formato: lato Y x lato Z
Trave generica:	soltanto il profilo, se assegnato
Asta:	soltanto il profilo, se assegnato
Lastra:	lettera M
Piastra:	lettera P
Guscio:	lettera S
Assialsimmetrico:	lettera A
Deformazione piana:	lettera D
Piastra Winkler:	lettera W

Rappresentazione del tipo di elemento

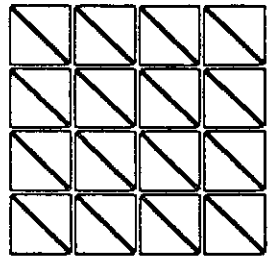


L'indicazione con il tipo di elemento viene rappresentata solo per quegli elementi sufficientemente ingranditi da consentire una adeguata visualizzazione dell'indicazione.

☒ Shrink

Lo "shrink" consiste in una rappresentazione degli elementi con dimensioni ridotte rispetto ai singoli punti centroidali.
Ciò consente di verificare con immediatezza la connessione tra elementi.

La rappresentazione in modalità "shrink"

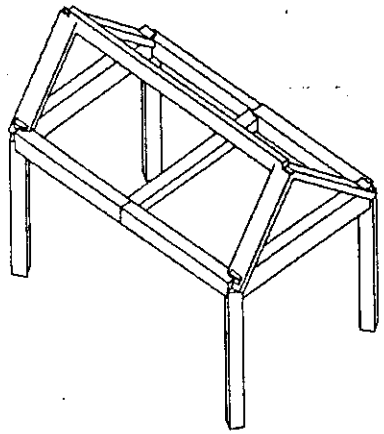


Questo tipo di rappresentazione è valido per tutti gli elementi.

Lo "shrink" consente, nel caso di elementi a due nodi, di verificare immediatamente che gli elementi siano connessi in un nodo e non accidentalmente sovrapposti.
Nel caso di elementi a più di 2 nodi, consente di verificare che non vi siano elementi mancanti e se vi sono elementi a 2 nodi interposti tra gli elementi bidimensionali.

☒ Rapp. solida La rappresentazione solida della struttura consente di visualizzare gli elementi nelle loro effettive dimensioni.

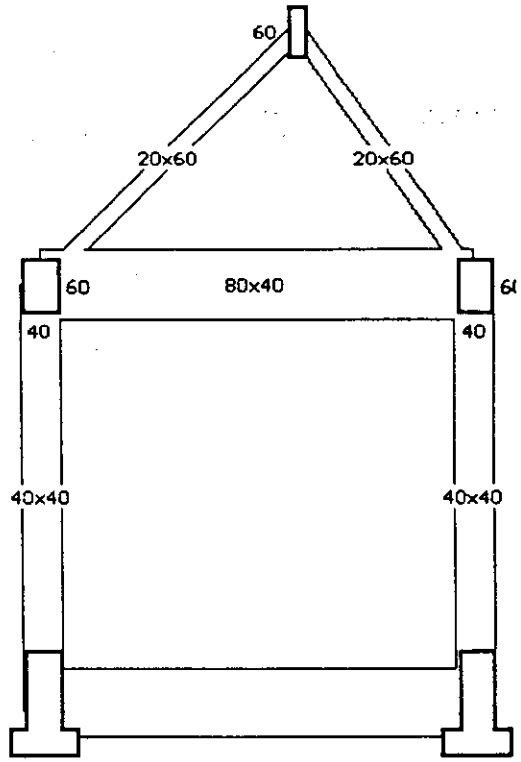
☒ Rimozione Qualora si attivi l'opzione **Rimozione** vengono rimosse sia le linee di intersezione tra gli elementi solidi che le linee nascoste.



Rappresentazione solida della struttura

Rappresentazione per sezione

Qualora la rappresentazione avvenga per sezione vengono rappresentati soltanto gli elementi Trave rettangolare con le relative dimensioni.
Gli elementi sezionati vengono rappresentati a tratto spesso.
Gli elementi per i quali un estremo coincide con il piano di sezione e che proseguono superiormente al piano di sezione, vengono rappresentati in grigio.

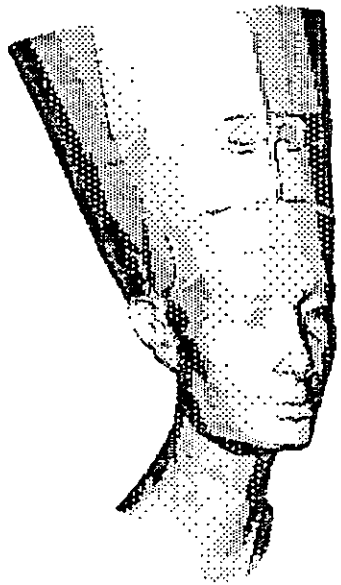


Rappresentazione in sezione di struttura ad elementi Trave rettangolare e Winkler

Rimozione delle linee nascoste

☒ **Linee nascoste** La rimozione delle linee nascoste consente una rappresentazione realistica delle strutture formate da elementi bidimensionali.

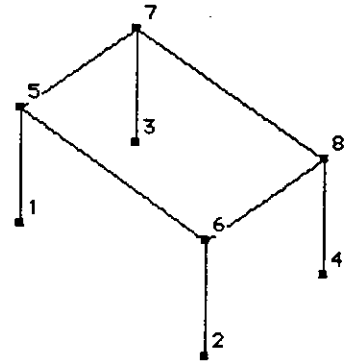
☒ **Ombreggiatura** Qualora sia attiva l'opzione **Ombreggiatura** sul modello vengono riportate le ombre proprie.



Rappresentazione tramite rimozione delle linee nascoste ed ombreggiatura

Numerazione dei nodi

☒ **Numera nodi** Attivando la rappresentazione della numerazione dei nodi viene visualizzato, in corrispondenza di ciascun nodo, il numero progressivo ad esso automaticamente attribuito dal programma.



Rappresentazione della numerazione dei nodi

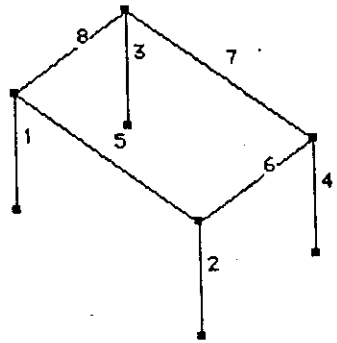
L'utente non può intervenire sulla numerazione dei nodi.
La numerazione rappresentata non è quella usata nell'assemblaggio della matrice di rigidezza in quanto il programma attua una rinumerazione con ottimizzazione dell'ampiezza di semibanda.

In caso di cancellazione dei nodi la numerazione viene aggiornata, quindi ad un nodo non corrisponde necessariamente sempre lo stesso numero.
La numerazione visualizzata è la stessa che viene utilizzata nella stampa dei dati e dei risultati.

☒ **Nodo:** 5

Attivando l'opzione **Nodo:** è possibile visualizzare solo il numero del nodo specificato. Ciò consente di individuare rapidamente un nodo di cui sia noto il numero.
Questa opzione è particolarmente utile per individuare i nodi segnalati nei messaggi di errore.

☒ **Numera elementi** Attivando la rappresentazione della numerazione degli elementi viene visualizzato, in corrispondenza di ciascun elemento, il numero progressivo ad esso automaticamente attribuito dal programma.



Rappresentazione della numerazione degli elementi

L'utente non può intervenire sulla numerazione degli elementi.
La numerazione viene aggiornata in caso di cancellazione degli elementi e quindi ad un elemento non corrisponde necessariamente sempre lo stesso numero.
La numerazione visualizzata è la stessa che viene utilizzata nella stampa dei dati e dei risultati.

☒ **Elem:** 13

Attivando l'opzione **Elem:** è possibile visualizzare solo il numero dell'elemento specificato.
Ciò consente di individuare rapidamente un elemento di cui sia noto il numero.
Questa opzione è particolarmente utile per individuare gli elementi segnalati nei messaggi di errore.

Sezione E
L'ANALISI

Analisi

Selezionando il tipo di analisi si da inizio al relativo procedimento di analisi.

I tipi di analisi previste in MacSap sono i seguenti:

1. Analisi statica
   Consente l'analisi elastica lineare della struttura contemporaneamente per 4 condizioni di carico indipendenti.
   Le forze agiscono staticamente.
2. Analisi statica e dinamica
   Viene effettuata l'analisi statica come al punto 1. e contemporaneamente l'analisi modale e l'analisi sismica con la tecnica dello spettro di risposta.
3. Storia della risposta
   Questa analisi può essere effettuata solo dopo aver effettuato l'analisi dinamica in quanto sono necessari i risultati dell'analisi modale.
   La storia della risposta consente di ottenere la risposta della struttura, in termini di spostamenti e sforzi, ad intervalli predefiniti durante un assegnato periodo di tempo.
   La risposta della struttura è riferita ad una eccitazione, o forzante, intesa come forza o accelerazione, applicata alla struttura o al suolo, che varia nel tempo.
4. Analisi non lineare di telai
   Consente l'analisi di telai tridimensionali per non linearità geometrica (Effetti del secondo ordine).

I diversi tipi di analisi sono descritti dettagliatamente in seguito.

Durante l'analisi, qualora venga individuato un errore, esso viene riportato in un'apposita finestra di messaggio.
L'elenco degli errori è riportato nell'appendice C.

Durante l'analisi vengono formati alcuni files temporanei.
Alcuni di essi vengono utilizzati per tutta la durata del programma e vengono cancellati al termine dell'esecuzione del programma.
In caso di interruzione forzata del programma tali files possono restare su disco.
In questo caso essi possono, se lo si desidera, essere cancellati senza alcun pericolo.
Tali files non vanno comunque cancellati o spostati mentre il programma è attivo.
Questi files hanno nomi secondo il seguente schema:

¡¡MSXX!!

dove XX indica un numero di due cifre.

IMPORTANTE:
Non usare nomi con lo stesso schema per altri files: verrebbero cancellati senza avviso.

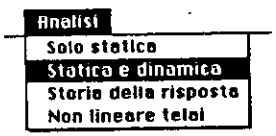
L'analisi statica è preceduta da alcuni controlli sulla plausibilità dei dati.
In caso di incompletezza o inconsistenza dei dati il programma ne dà avviso arrestando il procedimento di analisi.

Durante l'analisi vengono presentati i seguenti messaggi per consentire di seguire lo svolgimento del procedimento:

1. ottimizzazione
2. assemblaggio
3. fattorizzazione

Messaggio durante il procedimento di analisi

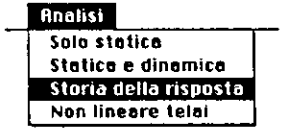
Gli errori che eventualmente dovessero essere individuati durante l'analisi sono segnalati tramite un messaggio.
L'elenco di tali errori è riportato nell'appendice C.



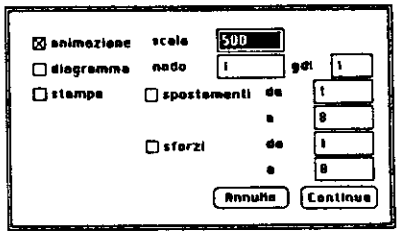
Poiché l'analisi dinamica richiede la fattorizzazione della matrice di rigidezza della struttura, prima dell'analisi dinamica viene svolta comunque l'analisi statica per le condizioni di carico assegnate.
Ciò non aggrava i tempi di calcolo.
Viene quindi effettuata un'analisi modale con la tecnica del "subspace iteration method" per il calcolo dei periodi propri e dei modi di vibrare della struttura.
Subito dopo viene impiegata la tecnica dello spettro di risposta per due direzioni ortogonali del sisma.
Prima di effettuare l'analisi viene effettuato un controllo sulla plausibilità e completezza dei dati.
La tecnica dello spettro di risposta richiede il coefficiente di risposta che è affidato ad un file di testo.
Il formato del file di testo è descritto nell'appendice B.
Se il programma non trova tale file richiede, nel modo standard del Macintosh, di indicare il file di testo contenente il coefficiente di risposta.
Se il file non c'è o non si è interessati ad usarlo, il programma chiede se si vuole interrompere l'analisi.
Qualora si continui l'analisi, viene effettuata la sola analisi modale e non l'analisi con la tecnica dello spettro di risposta.
Durante l'analisi dinamica vengono presentati i seguenti messaggi per consentire di seguire il procedimento:

1. ottimizzazione
2. assemblaggio
3. fattorizzazione
4. analisi modale
5. spettro di risposta

Eventuali errori individuati durante l'analisi vengono segnalati tramite messaggi e l'esecuzione viene interrotta.
L'elenco degli errori è riportato nell'appendice C.



Questa analisi può essere effettuata solo se in precedenza è già stata effettuata l'analisi modale.
La storia della risposta consente di ottenere la risposta della struttura, in termini di spostamenti e sforzi, ad intervalli predefiniti durante un assegnato periodo di tempo.
La risposta della struttura è riferita ad una eccitazione, o forzante, intesa come forza o accelerazione, applicata alla struttura o al suolo, che varia nel tempo.
Selezionando l'opzione dal menu **Analisi**, si accede ad una finestra di dialogo che consente di assegnare le opzioni volute.



Finestra di dialogo per l'assegnazione delle opzioni per la storia della risposta

Sono possibili le seguenti opzioni:

1. animazione

Consente di rappresentare in animazione, alla scala indicata, la deformata della struttura nel tempo.
La rappresentazione viene interrotta premendo il tasto comando ed il tasto <:>.
Premendo il tasto del mouse durante l'animazione l'immagine viene fermata per tutto il tempo in cui il tasto del mouse resta premuto.
Durante la pausa premendo il tasto <Q> viene inviata alla stampante l'immagine sullo schermo.

2. diagramma

☒ **diagramma** **nodo** 37 **gdl** 3

Consente di ottenere un diagramma dello spostamento nel tempo del nodo indicato per il grado di libertà (gdl) assegnato secondo il seguente codice:

1 traslazione secondo X
2 traslazione secondo Y
3 traslazione secondo Z
4 rotazione secondo X
5 rotazione secondo Y
6 rotazione secondo Z

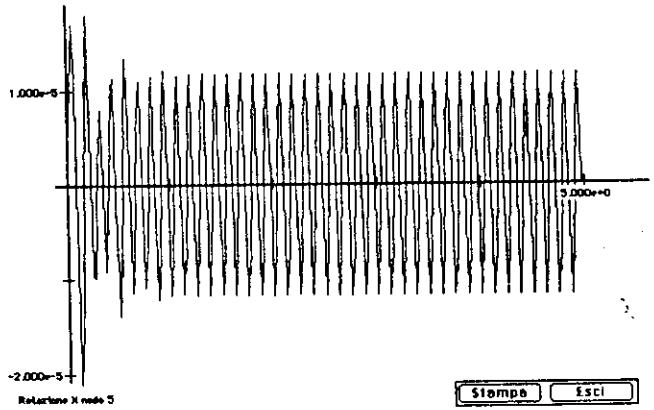


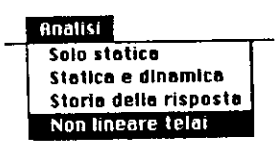
Diagramma degli spostamenti di un nodo

3. stampa

☒ **stampa** ☒ **spostamenti** **da** 1
a 10
☐ **sforzi** **da** 1
a 11

Consente il calcolo e la registrazione su file di testo degli spostamenti dei nodi o degli sforzi negli elementi.
Il numero dei nodi o degli elementi, iniziali e finali, di cui si vogliono i risultati in forma numerica devono essere assegnati nei campi appositi.
Qualora sia attiva l'opzione di stampa, appena chiuso il dialogo il programma richiede, nel modo standard del Macintosh, l'assegnazione del nome del file su cui i dati devono essere registrati.

Appena chiuso il dialogo viene richiesto il nome del file di testo contenente la descrizione della funzione forzante.
Il formato di tale file è descritto nell'appendice B.



Questa funzione è implementata solo nella versione non lineare di MacSap.
Consente l'analisi per non linearità geometrica di strutture costituite da elementi Trave.
Nell'analisi non lineare si tiene conto del cambiamento della configurazione sotto l'azione dei carichi.
Questo tipo di non linearità è detto geometrico e si presenta anche in presenza di comportamento elastico-lineare del materiale.
L'analisi non lineare tiene così conto dei cosiddetti "effetti del secondo ordine" derivanti dal considerare la rotazione del tronco elementare di una trave presso inflessa come non trascurabile, ancorché piccola.

Vengono assunte come funzioni di forma nella modellazione del campo degli spostamenti trasversali della trave le funzioni di stabilità, ossia le soluzioni, dipendenti dallo sforzo assiale, dell'equazione differenziale del quarto ordine dell'equilibrio elastico della trave presso-inflessa sotto assegnati spostamenti e rotazioni alle estremità.

L'analisi è svolta in modo iterativo partendo dalla distribuzione iniziale di sforzi assiali ottenuti dalla soluzione del problema lineare.
Ad ogni iterazione gli sforzi vengono aggiornati ed il procedimento si arresta quando in due iterazioni successive gli spostamenti modali presentano lo stesso valore.

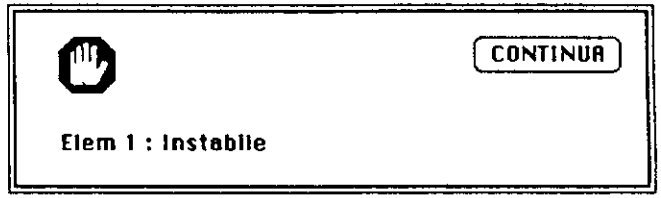
Il criterio di arresto è basato sulla norma di Cebyshev:

$$\max_{i=1,n} \frac{|V_i - U_i|}{1 + |V_i|} \leq 1E\text{-}5$$

dove **V** è il vettore delle **n** componenti di spostamento al passo precedente e **U** è lo stesso vettore al passo corrente.

Durante l'analisi non lineare i messaggi che indicano i vari stadi del procedimento sono accompagnati da due numeri.
Il primo numero indica l'iterazione in corso, il secondo la convergenza della soluzione.
Questo secondo numero consente di seguire l'approssimarsi delle iterazioni al valore d'arresto del procedimento.
E' fissato un massimo numero di iterazioni (10) superato il quale il procedimento si arresta per mancanza di convergenza.

Messaggio che indica l'instabilità di un elemento



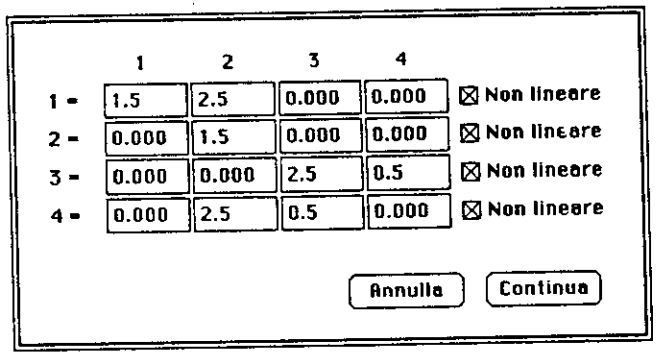
L'analisi non lineare prevede un messaggio di errore specifico di particolare utilità.
Tale errore segnala se è stato individuato un elemento instabile.
L'analisi si arresta ed il numero dell'elemento instabile riportato nel messaggio di errore consente di modificare l'elemento instabile con facilità.

Qualora si abbia un messaggio di errore che indica una matrice non definita positiva nell'operazione di fattorizzazione durante le iterazioni dell'analisi non lineare, questa evenienza indica che si è raggiunto o superato il carico critico e si ha dunque una instabilità globale della struttura.

L'analisi non lineare, dipendendo dai carichi, non può essere condotta contemporaneamente per più condizioni di carico indipendenti.

Pertanto per ogni differente condizione di carico va effettuata una nuova analisi non lineare.
MacSap consente di eseguire fino a quattro analisi non lineari successive in modo automatico.
Per ciascuna di esse è possibile assegnare una combinazione delle condizioni di carico di base.
Per assegnare i coefficienti di tali combinazioni si usa la finestra di dialogo a cui si accede tramite l'opzione **Combinazioni non lineare** del menu **Assegnazioni**.

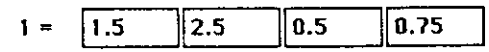
Finestra di dialogo per l'assegnazione delle combinazioni di carico non lineari



Nella finestra di dialogo si deve specificare per ciascuna analisi indipendente se si desidera che essa sia lineare o non lineare.
Nel caso di analisi non lineare si possono specificare i coefficienti moltiplicativi delle condizioni di carico indipendenti per formare le combinazioni di carico.
I risultati delle quattro successive analisi indipendenti, sia lineari che non lineari, vengono riportate in corrispondenza delle consuete condizioni di carico.
Se l'analisi è stata non lineare per quella condizione, la dicitura della condizione di carico è seguita dalle lettere NL ad indicare tale evenienza.

Solo per gli elementi Trave (sia Generica che Rettangolare) si tiene conto del comportamento non lineare.
Gli altri tipi di elementi possono essere impiegati in un'analisi non lineare insieme agli elementi Trave tenendo però presente che essi mantengono un comportamento lineare.

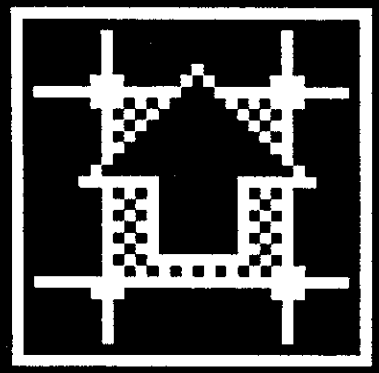
I carichi sugli elementi Trave che sono considerati nell'analisi non lineare sono i seguenti:
carico uniformemente distribuito
peso proprio
differenza di temperatura costante
Gli altri tipi di carico, anche se assegnati, vengono ignorati.



Qualora non sia stata assegnata alcuna combinazione di carico non lineare, l'analisi non viene effettuata ed il programma dà avviso di questa occorrenza.

Sezione F

I RISULTATI



I risultati

Qualora sia stata effettuata l'analisi della struttura ovvero si sia letto un documento relativo ad una struttura già analizzata, tramite il menu **Risultati** si potrà accedere alle funzioni per la lettura dei valori numerici dei risultati e per la rappresentazione grafica dei risultati.

Qualora si modifichino i dati di una struttura già analizzata, poiché si viene a perdere con tale operazione la congruenza tra dati e risultati, la possibilità di leggere i risultati viene disabilitata.

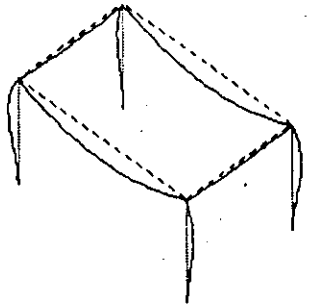
I risultati sono disponibili in due forme:

Forma numerica:
- spostamenti
- sforzi

Forma grafica:
- deformate statiche
- deformate modali
- grafico degli sforzi (sforzo assiale, taglio, momento flettente)
- direzioni principali di tensione
- linee di isosforzo per le tensioni in direzione X, Y ed equivalenti o di Von Mises

Tutte le funzioni di trasformazione proiettiva e le funzioni di stampa sono attive durante la rappresentazione grafica dei risultati.

Deformate statiche



Deformate modali

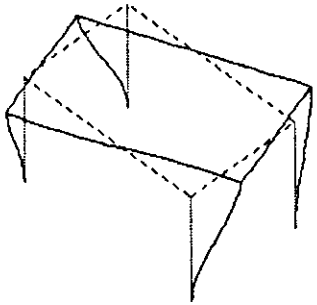


Diagramma dei momenti

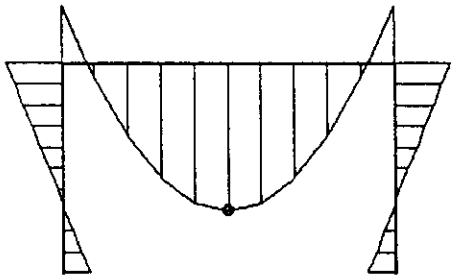


Diagramma del taglio

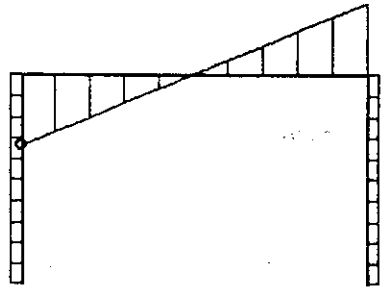
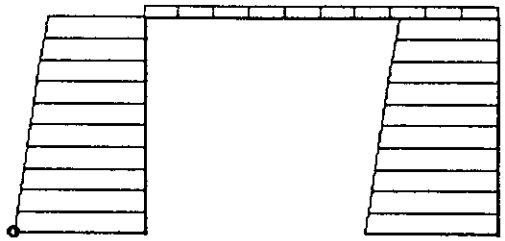
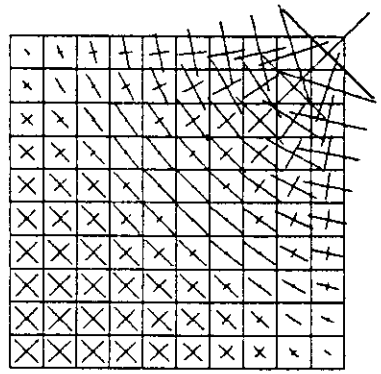
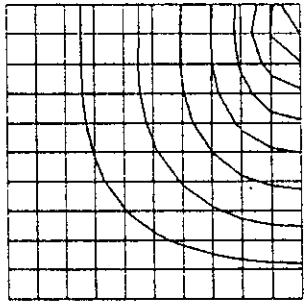


Diagramma dello sforzo assiale

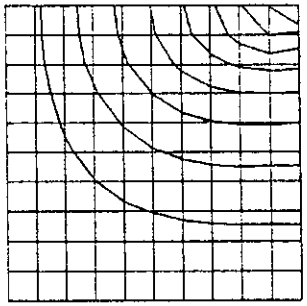


Direzioni principali di tensione

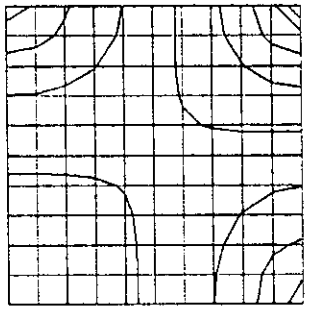




Linee di isosforzo in direzione X



Linee di isosforzo in direzione Y

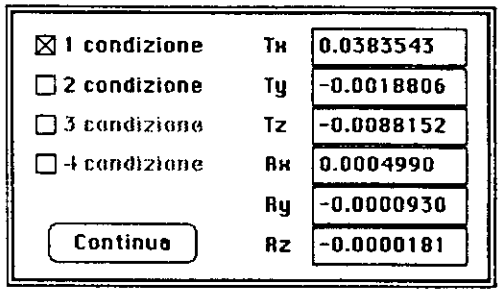


Linee di isosforzo delle tensioni equivalenti (di Von Mises)

Gli spostamenti

Risultati
Spostamenti

Per ciascun nodo della struttura analizzata vengono calcolati gli spostamenti nel sistema globale di riferimento.
Gli spostamenti nel nodo sono relativi ai sei gradi di libertà e cioè le tre traslazioni Tx, Ty, Tz e le tre rotazioni Rx, Ry, Rz.
Le rotazioni sono espresse in radianti ed il suffisso x, y, z indica l'asse globale intorno al quale avviene la rotazione.
I valori numerici degli spostamenti vengono riportati in una finestra di dialogo.



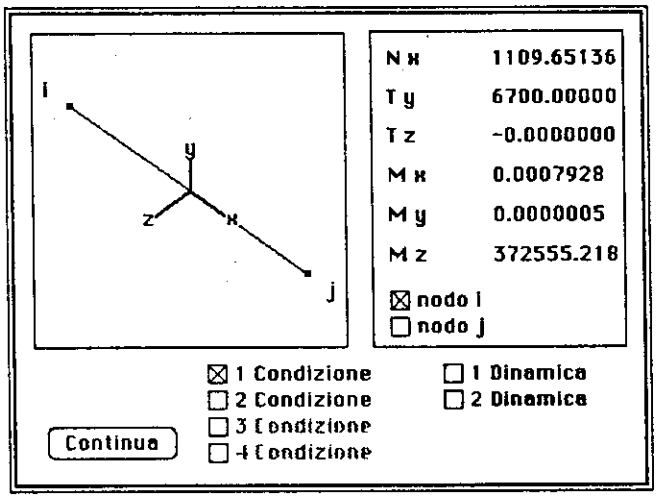
Finestra di dialogo per la lettura degli spostamenti

Per leggere gli spostamenti di un nodo procedere come segue:

1. Selezionare l'opzione **Spostamenti** del menu **Risultati**.
2. Selezionare il nodo voluto. Si aprirà la finestra di dialogo con gli spostamenti nodali del nodo selezionato.
3. Selezionare la condizione di carico voluta. Le condizioni di carico per le quali i valori di spostamento sono tutti nulli non sono abilitate ed appaiono in grigio.
4. Terminata la consultazione, agire sul bottone **Continua**.

Gli spostamenti sono disponibili solo per le analisi statica lineare e non lineare.
Non sono disponibili per l'analisi dinamica.
Gli spostamenti dei nodi secondari dell'elemento Rigel e dei gradi di libertà slave non sono riportati e quindi appaiono nulli.

Per ciascun elemento della struttura analizzata vengono calcolati gli sforzi agenti in ciascun nodo dell'elemento.
I valori numerici degli sforzi sono riportati in una finestra di dialogo.



Finestra di dialogo per la lettura degli sforzi

Per ottenere gli sforzi agenti ai nodi di un elemento procedere come segue:

1. Selezionare l'opzione **Sforzi** del menu **Risultati**.
2. Selezionare l'elemento voluto.
   Si aprirà una finestra di dialogo.
   Nella parte sinistra della finestra è riportato l'elemento, opportunamente ingrandito, insieme agli assi del riferimento locale.

3. Selezionare la condizione di carico voluta.
   Le condizioni di carico per le quali gli sforzi sono tutti nulli non sono abilitate.
4. Se richiesto, selezionare il nodo dell'elemento per il quale si vogliono gli sforzi.
   Tali nodi sono indicati con le lettere **i, j, k, l** a seconda del numero di nodi dell'elemento.
5. Terminata la consultazione dei valori degli sforzi, selezionare il bottone **Continua**.

Gli sforzi sono riferiti al sistema locale di coordinate dell'elemento.
Per gli elementi Assialsimmetrico e Deformazione piana gli sforzi sono riferiti al sistema globale di riferimento e pertanto non si prenda in considerazione lo schema degli assi locali raffigurati nella finestra di dialogo.

Gli sforzi che vengono calcolati dipendono dal tipo di elemento.

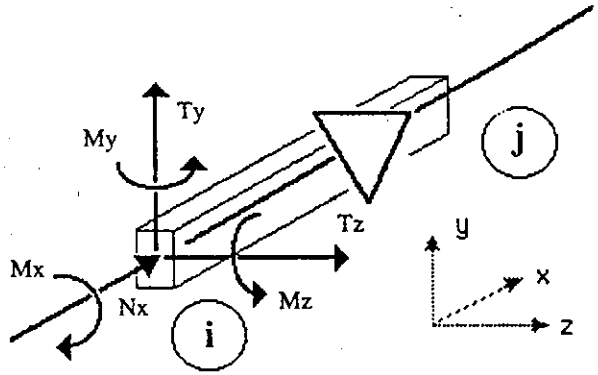
Nella finestra di dialogo degli sforzi vengono impiegati i seguenti simboli:

N: sforzo o tensione di trazione o compressione
T: sforzo di taglio
M: momento flettente

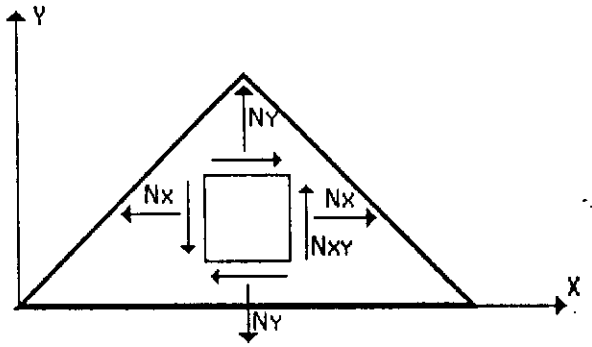
Queste lettere sono seguite dalla denominazione (x, y, z) dell'asse del sistema locale cui gli sforzi si riferiscono.

Lo sforzo Nxy è una tensione tangenziale.
Il momento Mxy è un momento torcente.

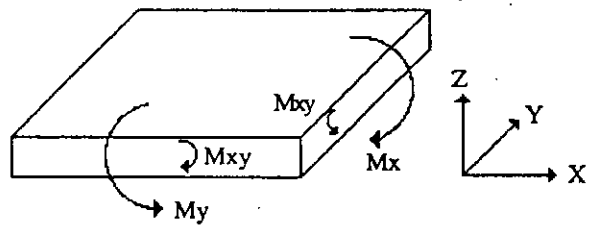
Nel caso di un elemento Trave i simboli hanno il significato in figura.



Nel caso di un elemento Lastra i simboli hanno il significato in figura.



Nel caso di un elemento Piastra i simboli hanno il significato in figura.



I momenti negli elementi bidimensionali sono espressi per unità di lunghezza (esempio: kg x cm/cm) ed i suffissi x, y, xy si riferiscono alla direzione delle fibre tese e non all'asse della coppia.
Inoltre, per facilitare la comprensione dei valori, i momenti sono positivi se tendono le fibre "superiori" dell'elemento e cioè quelle del lato dal quale esce la semiretta positiva dell'asse locale Z.

Le tensioni nelle fibre più lontane dall'asse neutro si ottengono tramite la relazione:

$$\sigma_x = 6\ Mx/spessore^2$$

Le tensioni negli elementi bidimensionali sono espresse per unità di superficie (esempio: kg/cm^2).

Nel caso di elementi Deformazione piana o Assialsimmetrico si ha anche lo sforzo Nz e cioè perpendicolare alla superficie dell'elemento.

Le tensioni N si intendono positive se di trazione.

☒ 1 Dinamica
☒ 2 Dinamica

Analisi sismica

Gli sforzi per l'analisi dinamica con la tecnica dello spettro di risposta sono ottenibili selezionando le voci **1 Dinamica** e **2 Dinamica**.

I valori sono "valori efficaci" e cioè ottenuti come radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli contributi modali e quindi sono sempre positivi.

1 Dinamica si riferisce ai valori ottenuti dall'analisi sismica per l'accelerazione nel piano XY indicata dall'utente nella finestra di dialogo delle costanti dinamiche.

2 Dinamica si riferisce ad una accelerazione ortogonale a quella precedente.

Qualora sia assegnata anche un'accelerazione secondo Z, i risultati di tale accelerazione vengono sommati a quelli di entrambe le direzioni della accelerazione orizzontale.
Qualora sia assegnata la sola accelerazione secondo Z, i risultati vengono riportati in entrambe le condizioni **1 Dinamica** e **2 Dinamica** che pertanto riportano gli stessi valori.

Risultati
Diagramma deformate

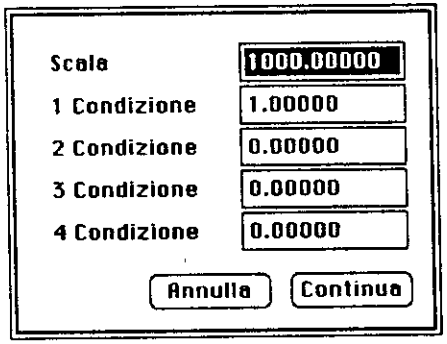
La rappresentazione della struttura deformata avviene costruendo l'andamento della deformazione lungo l'elemento tramite i valori di spostamento nodali.

Secondo i tipi di elemento la deformata dell'elemento è costruita in modo diverso:

Elementi monodimensionali:
funzione cubica
Elementi bidimensionali:
funzione lineare

Per visualizzare in modo adeguato la configurazione deformata occorre "amplificare" i valori di spostamento, in genere molto piccoli, rispetto alle dimensioni della struttura.
In mancanza di questo accorgimento la configurazione deformata sarebbe difficilmente distinguibile da quella indeformata a causa dei valori di spostamento piccoli in confronto alle dimensioni della struttura.
Per ottenere questa "amplificazione" si usa un fattore di scala che può essere assegnato tramite un'apposita finestra di dialogo.
Tale finestra di dialogo, che si apre appena selezionata la voce **Diagramma deformate** del menu **Risultati**, consente anche di assegnare dei coefficienti moltiplicativi per ciascuna condizione di carico in modo che sia possibile visualizzare la configurazione deformata per una combinazione delle condizioni indipendenti di carico.
Tramite tali coefficienti è possibile visualizzare una singola condizione di carico semplicemente assegnando 1 come coefficiente della condizione voluta e 0 per tutte le altre.

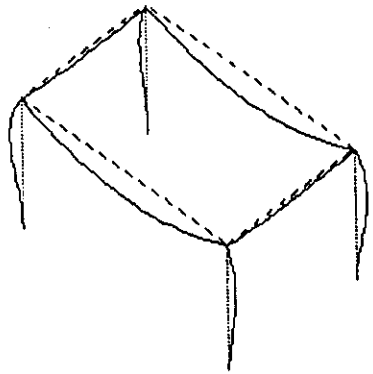
Finestra di dialogo per l'assegnazione della scala di ingrandimento della deformata



Il valore di scala deve essere diverso da zero, in caso contrario la rappresentazione non viene effettuata.

Qualora si desideri modificare il fattore di scala o i coefficienti moltiplicativi durante la rappresentazione grafica, è possibile accedere immediatamente alla finestra di dialogo tramite la voce **Modifica scala** del menu **Risultati**.

Configurazione deformata della struttura



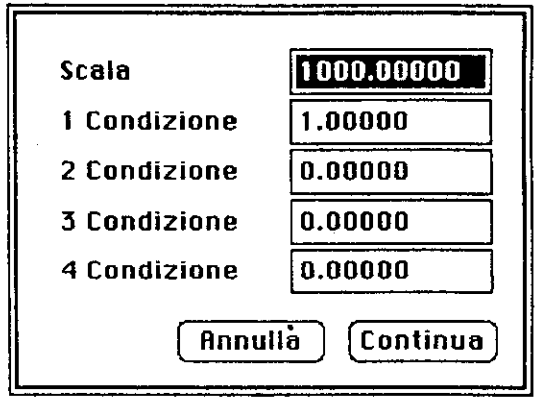
Nel caso di analisi non lineare la funzione che descrive la deformazione dell'elemento Trave è una funzione trascendente che può essere solo limitatamente rappresentata dalla funzione cubica che viene invece impiegata.
Si consideri quindi con riserva la rappresentazione grafica della deformata nell'analisi non lineare.

Il diagramma delle deformate non tiene conto dell'eliminazione dei vincoli interni degli elementi Trave.

Qualora sia stata effettuata l'analisi modale della struttura si dispone degli autovettori, ovvero delle forme proprie di vibrazione libera della struttura.
La rappresentazione delle deformate modali consente di visualizzare le forme di vibrazione libera della struttura.
Come nel caso delle deformate statiche, occorre "amplificare" i valori delle forme modali in quanto sono generalmente molto piccoli in confronto alle dimensioni della struttura.
Il fattore di scala di tale amplificazione viene assegnato in un'apposita finestra di dialogo che si apre appena selezionata l'opzione **Deformate modali** del menu **Risultati**.
In tale dialogo è possibile assegnare dei coefficienti moltiplicativi per ciascuno dei primi 4 modi di vibrare per poter esaminare la sovrapposizione dei modi di vibrare.
Tramite tali coefficienti è possibile visualizzare un singolo modo di vibrare semplicemente assegnando 1 come coefficiente del modo voluto e 0 per tutti gli altri modi.

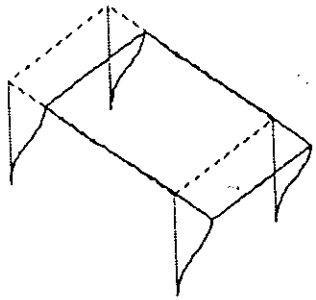
I modi di vibrare sono delle vere e proprie "forme" in quanto sono definiti a meno di un parametro arbitrario.
Pertanto i diagrammi non vanno confusi con le deformazioni che la struttura subisce per effetto di qualche azione esterna.

Finestra di dialogo per la visualizzazione delle deformate modali

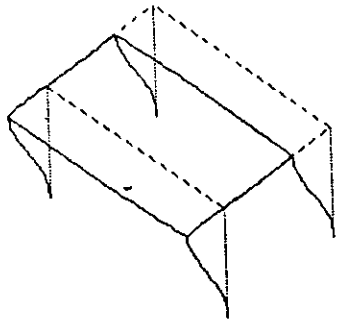


Qualora si desideri modificare la scala durante la rappresentazione grafica, è possibile accedere alla finestra di dialogo tramite la voce **Modifica scala** del menu **Risultati**.

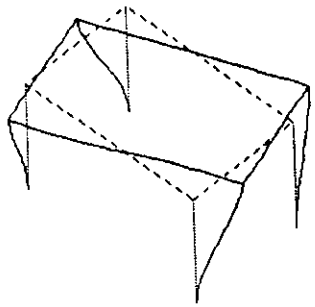
1° modo di vibrare

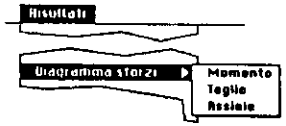


2° modo di vibrare



3° modo di vibrare





Il diagramma dell'andamento degli sforzi negli elementi viene costruito impiegando i valori che gli sforzi assumono nei nodi dell'elemento.

Secondo il tipo di elemento si hanno differenti criteri di costruzione del diagramma:

Elementi monodimensionali:
il diagramma del momento è una funzione cubica.
Elementi bidimensionali:
la funzione è lineare.

Il tipo di sforzo che si vuole rappresentare viene selezionato tramite il menu gerarchico dell'opzione **Diagramma sforzi** del menu **Risultati**.

Menu gerarchico per la selezione del tipo di sforzo da rappresentare

Momento flettente:
viene rappresentato per gli elementi: Trave, Trave Winkler, Piastra, Guscio, Piastra Winkler.
Taglio:
viene rappresentato per gli elementi: Trave, Trave Winkler.
Assiale:
Viene rappresentato per gli elementi: Asta, Trave, Lastra, Guscio, Piastra Winkler, Deformazione piana, Assialsimmetrico.

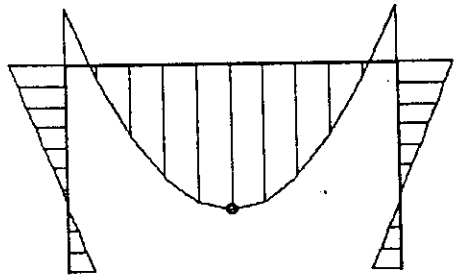


Diagramma del momento in elementi Trave

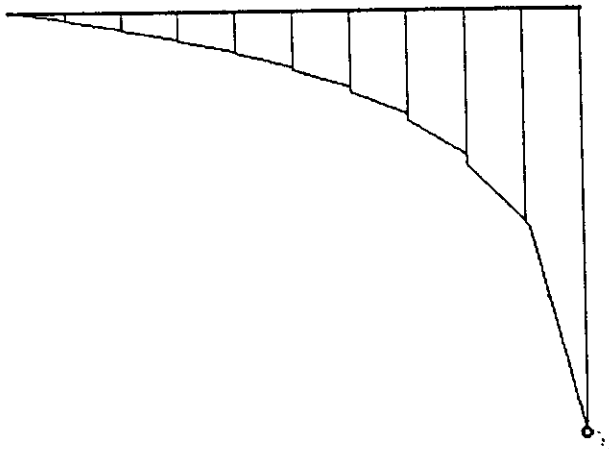
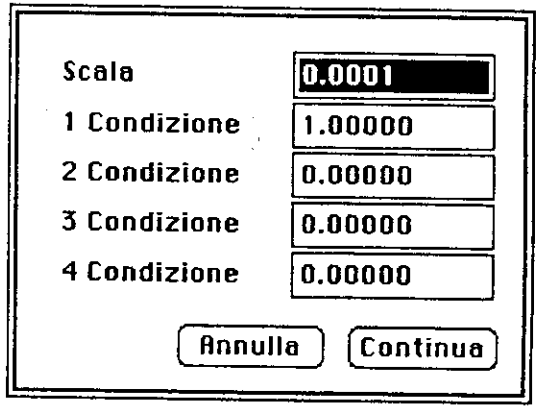


Diagramma del momento in elementi Piastra

I diagrammi di sforzo vengono rappresentati solo in sezione e non in assonometria. Il diagramma è una proiezione sul piano di sezione della funzione che descrive l'andamento dello sforzo nell'elemento nello spazio tridimensionale.

L'ampiezza del diagramma è determinato da un fattore di scala che viene assegnato in un apposito dialogo che si apre appena selezionato il tipo di rappresentazione voluta.

Dialogo per l'assegnazione della scala dei diagrammi di sforzo



Nel dialogo per l'assegnazione della scala è possibile assegnare i coefficienti moltiplicativi per ciascuna condizione di carico i quali consentono la rappresentazione dei diagrammi per qualsiasi condizione o combinazione delle condizioni di carico.

In caso di analisi non lineare, l'andamento degli sforzi nell'elemento Trave sono una funzione trascendente che quindi non può essere adeguatamente approssimata dalla funzione cubica che invece viene impiegata per la rappresentazione degli sforzi. Prendere quindi con riserva i diagrammi degli sforzi in caso di analisi non lineare.

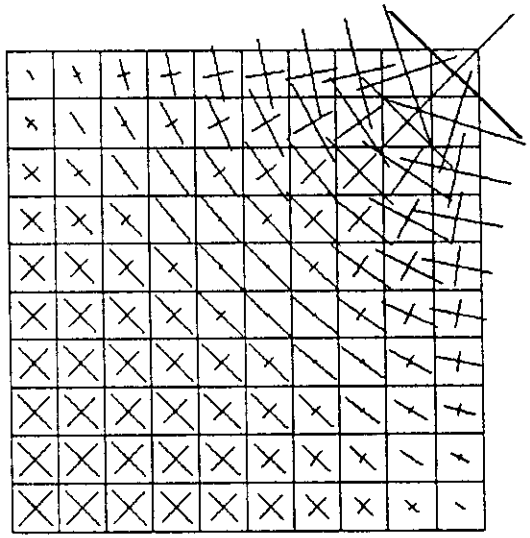
Risultati

Direzioni principali

Negli elementi bidimensionali l'andamento delle tensioni è efficacemente rappresentato dalla direzione e dal valore delle direzioni principali di tensione.
La rappresentazione delle direzioni principali consente di visualizzare il centro di ogni elemento bidimensionale le due direzioni principali di tensione in direzione e modulo.

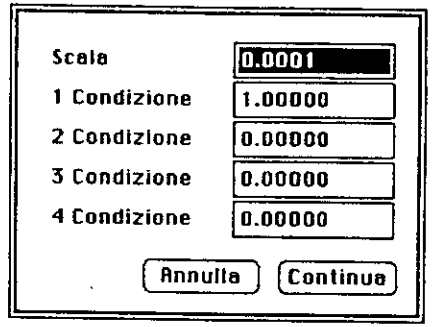
La direzione principale di trazione è rappresentata in colore rosso, quella di compressione in colore blù.

La rappresentazione delle Direzioni principali è possibile solo in sezione, non in assonometria.



Direzioni principali di tensione in una Piastra

L'ampiezza nella rappresentazione dei vettori delle direzioni principali viene determinata da un fattore di scala definibile in un apposito dialogo che si apre appena selezionata la voce **Direzioni principali** del menu **Risultati**.

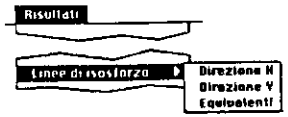


Dialogo per l'assegnazione dell'ampiezza dei vettori delle Direzioni principali

Tramite questo dialogo è possibile assegnare anche i coefficienti moltiplicativi per ciascuna condizione di carico i quali consentono la rappresentazione delle direzioni principali per qualsiasi condizione o combinazione delle condizioni di carico.

La rappresentazione delle Direzioni principali avviene per gli elementi bidimensionali.

Nel caso degli elementi Piastra, Guscio, Piastra Winkler, vengono rappresentate le direzioni principali delle tensioni dovute esclusivamente alle sollecitazioni flessionali nell'elemento.
In questo caso, poiché le tensioni variano nello spessore dell'elemento, vengono rappresentate le direzioni principali delle tensioni agenti sulla faccia "superiore" dell'elemento, intendendo con ciò la faccia dalla quale esce la semiretta positiva dell'asse locale Z.



Le curve di isosforzo sono linee che congiungono tutti i punti della struttura nei quali un certo tipo di sforzo presenta lo stesso valore. Le fasce racchiuse tra due linee di isosforzo, se rappresentate a colori, consentono di associare ad un determinato colore le zone in cui lo sforzo è compreso tra due valori.

> Le linee di isosforzo vengono rappresentate soltanto per gli elementi bidimensionali.

Gli sforzi che possono essere rappresentati tramite le linee di isosforzo sono i seguenti:

Direzione X
Direzione Y
Equivalenti

1. Tensioni nella direzione X
   In questo caso particolare la direzione X indica la direzione orizzontale rispetto allo schermo.
   Questa rappresentazione può avvenire solo se è attiva l'opzione sezione.

2. Tensioni nella direzione Y
   In questo caso particolare la direzione Y indica la direzione verticale rispetto allo schermo.
   Questa rappresentazione può avvenire solo se è attiva l'opzione sezione.

3. Tensioni equivalenti
   Queste tensioni, dette anche di Von Mises, sono calcolate secondo la relazione:
   $$S_{eq} = (N_x^2 + N_y^2 - N_x N_y + 3\,N_{xy}^2)^{1/2}$$
   Per questa rappresentazione non è necessario che sia attiva l'opzione sezione.

Nel caso di elementi Piastra, Guscio o Piastra Winkler, le tensioni rappresentate sono quelle derivanti dalla flessione nell'elemento. In questo caso, poiché le tensioni variano nello spessore dell'elemento, vengono rappresentate le tensioni agenti sulla faccia "superiore" dell'elemento, intendendo con ciò la faccia da cui esce la semiretta positiva dell'asse locale Z.
Nel caso dell'elemento Guscio, nel quale agiscono contemporaneamente anche le tensioni membranali, queste non vengono considerate.

Per attivare questo tipo di rappresentazione selezionare la voce **Linee di isosforzo** del menu **Risultati** e quindi selezionare dal menu gerarchico il tipo di rappresentazione voluto.

Menu gerarchico

Linee di isosforzo ▸ Direzione X / Direzione Y / Equivalenti

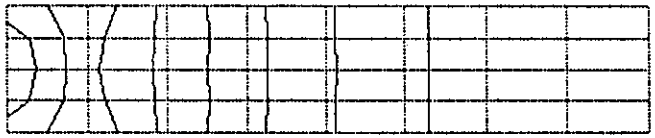
Assegnare quindi la combinazione dei carichi come fattori moltiplicativi per ogni condizione di carico.

Assegnare la scala.

In questo caso la scala rappresenta un fattore di "equalizzazione" della rappresentazione.
Infatti l'intervallo compreso tra il valore minimo ed il valore massimo dello sforzo nella struttura viene suddiviso in un certo numero di intervalli.
Questa suddivisione può essere effettuata in intervalli tutti eguali (suddivisione lineare) oppure amplificando gli intervalli per i valori di sforzo più alti o più bassi.

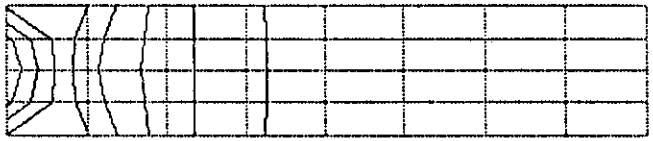
Pertanto si hanno i seguenti effetti modificando i valori di scala:

Scala =1: Suddivisione lineare.
Tutti gli intervalli sono di ampiezza eguale.



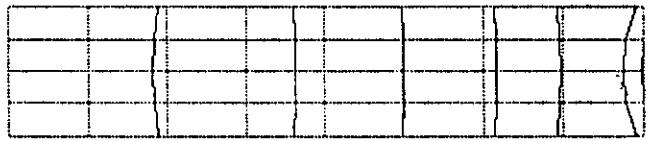
massimo sforzo minimo sforzo

Scala >1: Suddivisioni più dettagliate per i valori alti dello sforzo.



massimo sforzo minimo sforzo

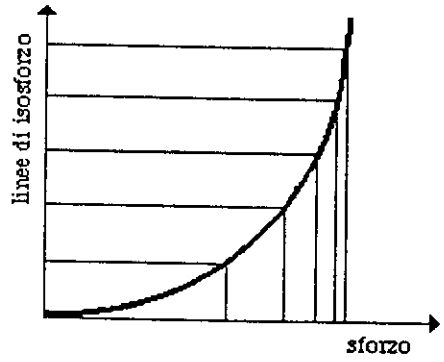
Scala <1: Suddivisioni più dettagliate per i valori bassi dello sforzo.



massimo sforzo minimo sforzo

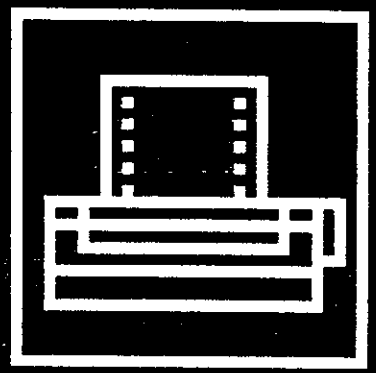
La funzione è esponenziale del tipo $y=x^{scala}$.

La funzione di equalizzazione per valori di scala >1.
Le suddivisioni sono più dettagliate per valori alti dello sforzo



Sezione G

ARCHIVIAZIONE E STAMPA



Registrazione di un documento

I dati, ed eventualmente i risultati dell'analisi, possono essere registrati su disco.

La registrazione può avvenire in qualsiasi momento: verranno registrati tutti i dati assegnati fino a quel momento.

Se si effettua per la prima volta la registrazione viene richiesto, con le modalità standard del Macintosh, il nome e la collocazione del documento.

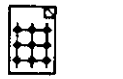
Nelle successive registrazioni tale richiesta non viene ripetuta ed il documento viene aggiornato.

Se si vuole formare un altro documento con differente nome è possibile usare l'opzione **Registra come** del menu **Archivio**.

Qualora la struttura non sia mai stata registrata, la finestra di lavoro riporterà il titolo **Senza titolo** altrimenti riporterà come titolo il nome del documento da cui si è letta o su cui si è appena registrata la struttura.

Il documento, o file, formato, nella registrazione, sarà contraddistinto da una particolare icona.

Icona di un documento MacSap



Lettura di un documento

La lettura di un documento MacSap può avvenire in qualsiasi momento.

Qualora si stia operando su dati non registrati, il programma richiede se, prima della lettura del nuovo documento, si vogliano registrare i dati sui quali si sta operando.

Il nome del documento dal quale si sono letti i dati è riportato come titolo della finestra di lavoro.

Icona di un documento MacSap

Si ricorda che un documento può essere letto, lanciando contemporaneamente il programma, facendo un doppio clic sull'icona del documento stesso.

Qualora il documento sia stato registrato dopo aver effettuato l'analisi, con la lettura del documento si rendono disponibili anche i risultati dell'analisi e quindi sono possibili immediatamente tutte le operazioni sui risultati.

Il titolo della finestra di lavoro corrisponde al documento sul quale si sta lavorando

Stampa dello schermo

MacSap consente di inviare alla stampante in qualsiasi momento quanto è rappresentato sullo schermo.

Le stampanti supportate da MacSap sono le stampanti Apple ad impatto e le stampanti Apple di tipo Laser purché dotate di interprete PostScript.

La stampa avviene sempre in bianco e nero anche se la stampante supporta la riproduzione a colori.

Nel caso in cui quanto riprodotto sullo schermo faccia uso di diversi colori o sfumature di colori, questi vengono automaticamente sostituiti nella stampa da una rappresentazione in bianco e nero.

Le modalità di stampa ed il formato di stampa vengono assegnate tramite i dialoghi standard cui si accede tramite l'opzione **Formato stampa** del menu **Archivio**.

Prima di ogni stampa è opportuno assegnare tali parametri di stampa.

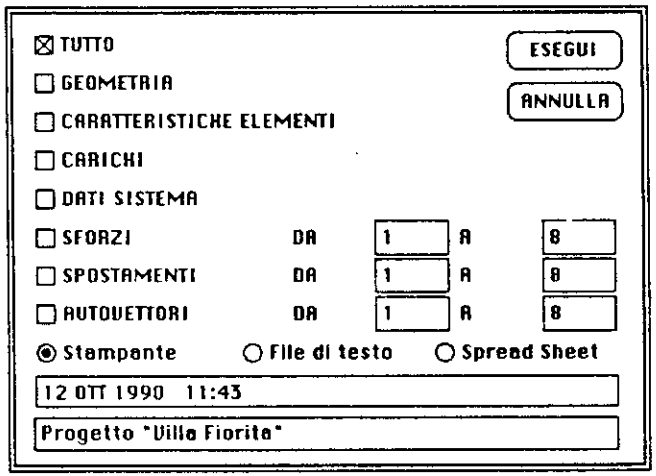
L'operazione di stampa può essere interrotta premendo contemporaneamente il tasto comando ed il tasto <:>.

La stampa della descrizione numerica del modello della struttura può essere eseguita in qualsiasi momento.
Qualora sia stata eseguita l'analisi della struttura, anche i risultati saranno stampati.

Affinché la stampa avvenga in modo corretto è opportuno, prima della stampa, configurare le opzioni standard di stampa tramite l'opzione **Formato stampa** del menu **Archivio**.

La stampa può essere eseguita in modo "tematico" e cioè stampando solo quelle particolari informazioni alle quali si è interessati.
Questa possibilità è consentita da una finestra di dialogo che si apre appena selezionata la voce **Stampa dati** del menu **Archivio**.

Dialogo per la stampa tematica dei dati



Le opzioni del dialogo corrispondenti ai dati che non possono essere stampati sono disattivate ed appaiono in grigio.

☒ TUTTO
L'opzione **TUTTO** del dialogo consente di stampare tutti i dati disponibili.
Attivando una o più opzioni specifiche, l'opzione **TUTTO** si disabilita e vengono stampati solo i dati le cui opzioni sono state selezionate.

◉ Stampante ○ File di testo ○ Spread Sheet
La stampa può avvenire direttamente su stampante oppure su file di testo.
In questo ultimo caso, viene richiesto, con modalità standard del Macintosh, il nome del file su cui si vuole siano inviati i dati.
In tale file viene impiegato il carattere Monaco 9.

◉ Spread Sheet
Selezionando l'opzione **Spread Sheet** gli sforzi vengono inviati su un file di testo il cui nome è richiesto dal programma in modo standard. Il formato spread sheet prevede un carattere TAB alla fine di ogni campo ed un carattere CR alla fine di ogni riga. Come separatore delle cifre decimali è usata la virgola.

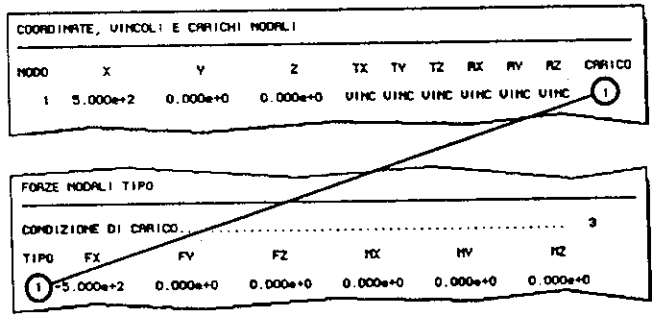
Le due ultime righe della finestra di dialogo consentono di immettere l'intestazione delle stampe.

Per interrompere la stampa premere contemporaneamente il tasto comando ed il tasto <.>.

Le stampe contengono una completa descrizione del modello della struttura.
Le informazioni contenute nelle stampe consentono una completa ricostruzione del modello così come richiesto dalle istruzioni CNR 10024-86.
Nel seguito sono riportate alcune note per una più agevole interpretazione dei criteri e dei simboli adottati.

Forze nodali

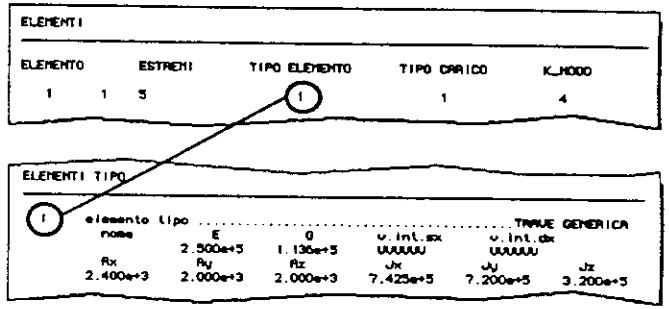
Stampa delle forze nodali



Ad ogni nodo possono essere assegnate delle forze o delle masse.
In questo caso nella colonna `CARICO` viene riportato un numero maggiore di zero.
Tale numero si riferisce alla `FORZA NODALE TIPO` ed alla `MASSA NODALE TIPO` dove è riportata la descrizione della forza o della massa agente sul nodo.
Una stessa `FORZA NODALE TIPO` può essere riferita a più nodi.
Se per una `FORZA NODALE TIPO` sono stati assegnati dei valori per più condizioni di carico, la stessa `FORZA NODALE TIPO` apparirà, con lo stesso numero di riferimento, sotto più condizioni di carico.

Tipo elemento

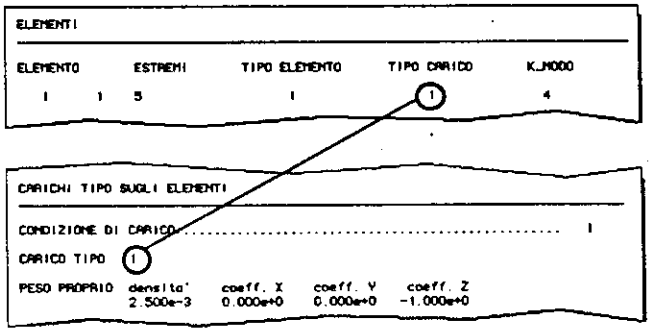
Stampa degli elementi tipo



Ad ogni elemento è assegnato un numero nella colonna `TIPO ELEMENTO` che si riferisce agli `ELEMENTI TIPO` dove, in corrispondenza del numero, è riportata la descrizione dell'elemento.
Più elementi possono avere lo stesso numero di `TIPO ELEMENTO`.
Elementi con le stesse caratteristiche possono avere numeri diversi di `ELEMENTI TIPO` nonostante il programma provveda, quando possibile, ad assegnare lo stesso numero di `ELEMENTI TIPO` ad elementi di eguali caratteristiche.

Tipo carico

Stampa dei carichi tipo



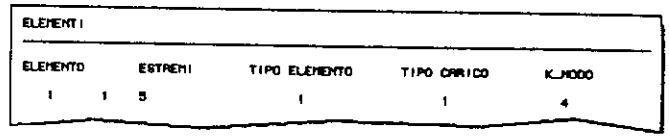
Per ogni elemento vi è un riferimento nella colonna `TIPO CARICO` al `CARICO TIPO` agente sull'elemento.
Ogni carico tipo contiene la descrizione di tutti i tipi di carico che formano quel carico tipo. Ad esempio carico generico, uniforme, peso proprio e così via.
Se un tipo di carico contiene dei valori per più condizioni di carico, il codice del tipo di carico sarà ripetutamente riportato per ogni condizione di carico cui si riferisce.

Generalmente il programma ottimizza l'uso dei carichi e degli elementi tipo assegnando lo stesso codice a elementi o carichi eguali.
In certi casi tale ottimizzazione può non aver luogo.
La ripetizione degli stessi elementi tipo o carichi tipo con codici diversi non costituisce pertanto un errore.

Masse tipo
Le masse nodali tipo e le masse tipo sugli elementi hanno lo stesso codice delle forze e dei carichi tipo.

Riferimento locale dell'elemento

Stampa del riferimento locale dell'elemento



Il riferimento locale viene indicato nella colonna del `K_NODO` secondo i seguenti simboli:

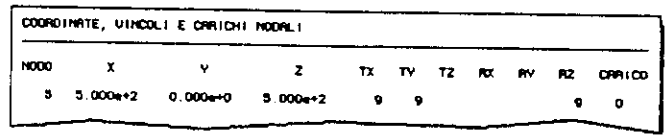
X: l'asse locale Y è parallelo all'asse globale X.
E' il riferimento di default per gli elementi verticali.

Y: il piano locale XY è parallelo all'asse globale Z.
E' il riferimento di default per gli elementi non verticali.

numero: numero del nodo K.
Il piano locale XY contiene il nodo il cui numero è riportato.

Master-slave

Stampa del riferimento al nodo master

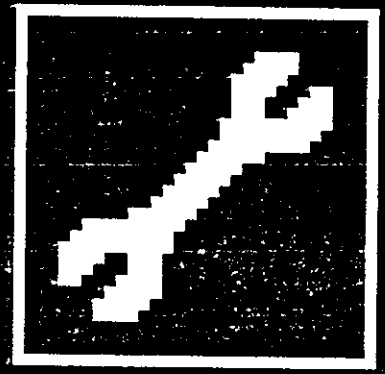


Nella colonna dei vincoli dei gradi di libertà del nodo si possono avere i seguenti simboli:

nessuno: il grado di libertà è libero.
VINC: il grado di libertà è vincolato.
numero: numero del nodo master di cui il grado di libertà è slave.

Sezione H

FUNZIONI SPECIALI



Master-slave

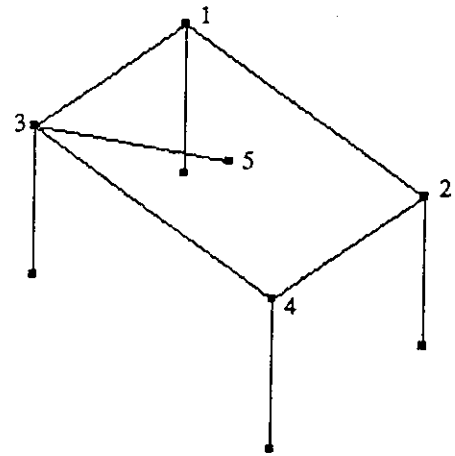
Qualora sussista un legame rigido e non elastico tra alcuni nodi di una struttura, gli spostamenti relativi tra tali nodi saranno legati da relazioni geometriche e non più elastiche.

Per moderare tale situazione si sceglie un opportuno nodo tra quelli legati da un legame rigido, detto nodo master, e si segnalano al programma tutti i nodi che dipendono rigidamente dagli spostamenti del nodo master.

Tali nodi sono detti slave.

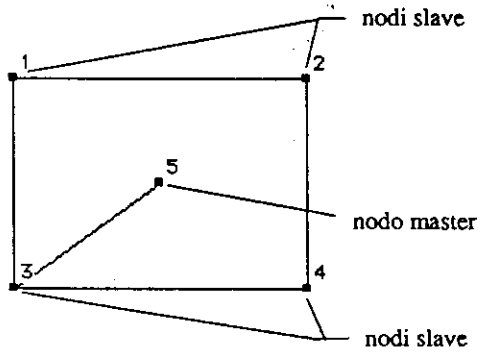
Tale segnalazione al programma avviene tramite il dialogo di assegnazione dei vincoli.

Per tutti i nodi slave e per ciascun grado di libertà rigidamente vincolato al nodo master va indicato, come codice di vincolo, il numero del nodo master.

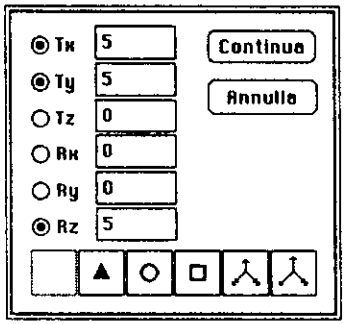


Esempio:

Si abbia un impalcato rigido nel piano XY per il quale si intendano rigidamente connesse le traslazioni X ed Y e la rotazione Z.
Il nodo master è il nodo 5.



L'assegnazione del codice di vincolo per tutti i nodi slave sarà la seguente:



Nell'uso del metodo master-slave va tenuto conto di alcune raccomandazioni:

1. Nei nodi slave devono concorrere esclusivamente elementi Trave.
2. Da un nodo master possono dipendere più nodi slave.
3. Un nodo slave deve dipendere da un solo nodo master.
4. Il nodo master può essere anche un nodo isolato, non appartenente alla struttura, posizionato solo a questo scopo.
   Il nodo master deve comunque essere connesso alla struttura, eventualmente con un collegamento fittizio, al fine di evitare che il programma, ritenendolo un nodo isolato di riferimento, lo elimini dall'analisi.
5. Le masse e le forze eventualmente assegnate ai nodi slave non vengono prese in considerazione nell'analisi.
6. I carichi assegnati ad elementi Trave secondo gradi di libertà dipendenti generano risultati privi di significato.
7. Le masse assegnate agli elementi Trave connessi a nodi slave vengono automaticamente riportate al nodo master.
8. Al nodo master possono essere assegnate masse e forze.
9. Nel caso di analisi sismica il nodo master deve essere posto nel baricentro del sistema di masse applicate ai nodi slave.

Il metodo master-slave consente di modellare l'impalcato, infinitamente rigido nel proprio piano, di un edificio.
Ciò si ottiene posizionando un nodo master nel baricentro dell'impalcato e rendendo dipendenti da tale nodo master i gradi di libertà traslazionali Tx e Ty e rotazionale Rz dei nodi slave dell'impalcato.
Al nodo master si possono eventualmente assegnare le forze o le masse agenti a livello di impalcato.
Il programma provvede comunque a trasferire al nodo master le masse assegnate agli elementi Trave connessi al nodo slave.

Nodo baricentrico

La funzione **Calcola baricentro** del menu **Funzioni** consente di generare un nodo posto nel baricentro del sistema di masse assegnate a nodi od elementi.

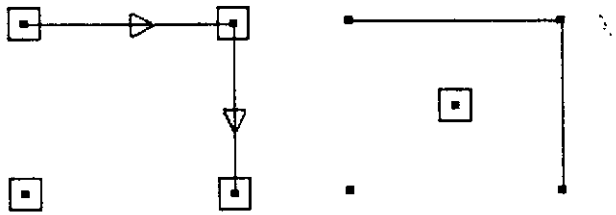
La funzione è del tutto generale e pertanto è in grado di calcolare il baricentro di un sistema tridimensionale di masse comunque assegnate.

Questa funzione è particolarmente utile nell'analisi sismica ove si impieghi il metodo master-slave in quanto il nodo master deve essere posizionato nel baricentro delle masse attribuite ai nodi slave.

Per la generazione del nodo baricentrico operare come segue:

1. Selezionare la voce **Calcola baricentro** del menu **Funzioni**.
2. Selezionare i nodi e gli elementi le cui masse si vuole siano considerate nel calcolo del baricentro.
3. Premere il tasto di ritorno carrello.

Verrà generato il nodo baricentrico che per maggior chiarezza risulterà contrassegnato.
L'opzione **Undo** consente di annullare eventualmente la generazione.



Generazione automatica del nodo baricentrico

Registrare un documento MacBeam

MacSap consente di formare dei documenti del programma MacBeam per il progetto delle armature di travi e pilastri in calcestruzzo armato.

I documenti MacBeam formati da MacSap contengono tutti i dati necessari per il progetto delle armature e possono essere letti direttamente da MacBeam per il progetto delle armature.

Icona del documento MacBeam

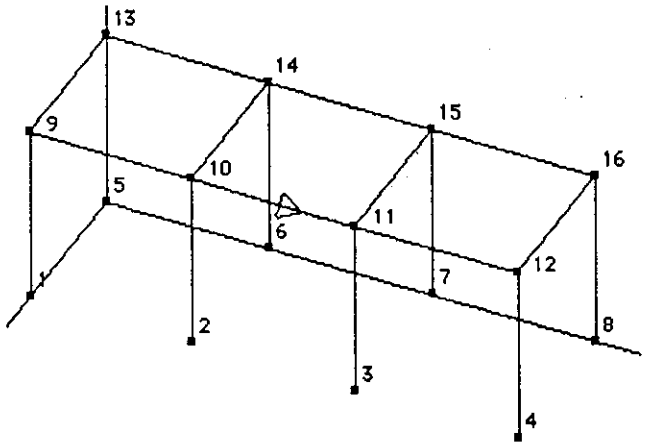
Documento MacBeam

Viene formato un diverso documento MacBeam per ogni travata o pilastrata della struttura tridimensionale.

Per formare un documento MacBeam procedere come segue:

1. Selezionare l'opzione **Registra BEAM** del menu **Archivio**.
2. Assegnare il nome del documento MacBeam nel dialogo standard.
3. Selezionare un elemento che compone la travata o la pilastrata voluta.

Esempio:



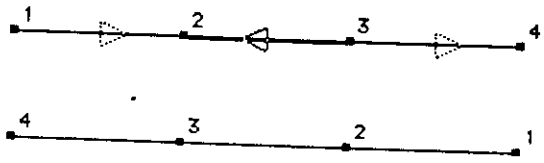
Si voglia formare un documento MacBeam con i dati della travata formata dalle campate 9-10, 10-11 e 11-12.
Per fare ciò è sufficiente selezionare una sola delle campate, ad esempio la 10-11, ed il programma provvederà automaticamente ad individuare le campate connesse alla 10-11 ed a salvare i dati ordinatamente in un documento MacBeam.
Una selezione multipla o totale consente di formare automaticamente più documenti MacBeam, ciascuno dei quali conterrà i dati di una singola travata o pilastrata.
In questo caso si consiglia di collocare tutti i documenti generati in un'apposita cartella.

Al nome del documento assegnato dall'operatore, il programma provvede ad assegnare i numeri degli estremi della travata o pilastrata selezionata in modo da evitare ambiguità nei nomi dei files.

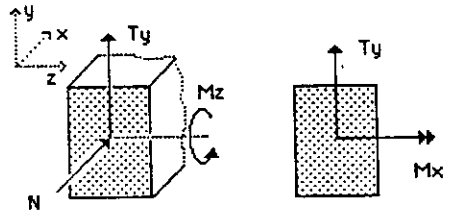
Il programma individua una travata o una pilastrata che abbia dei criteri di continuità tali che sia possibile, nel progetto delle armature, considerare le travi adiacenti come effettivamente consecutive.

Per far questo il programma segue le seguenti regole:

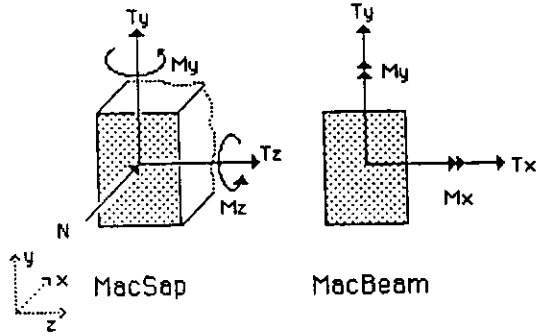
1. Solo elementi di tipo Trave, Trave Winkler e Rigel vengono considerati.
2. Elementi Trave che non siano allineati a meno di ±12° non vengono considerati consecutivi.
3. Nel caso venga individuato un elemento Rigel connesso con il suo nodo secondario ad un elemento Trave, la lunghezza del Rigel viene proiettata sull'asse della trave e viene trasmessa a MacBeam come un "offset" orizzontale della trave.
4. Gli elementi costituenti la travata o la pilastrata verranno orientati in modo coerente con l'orientamento dell'elemento selezionato.



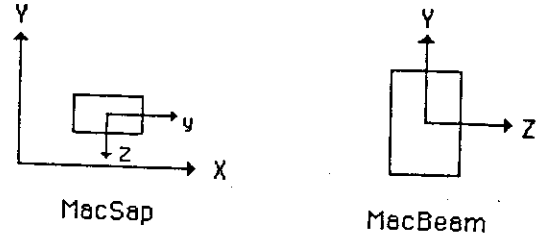
5. Nel trasferimento delle sollecitazioni nelle travi, verranno trasferite solo le sollecitazioni agenti nel piano XY dell'elemento.



6. Nel trasferimento delle sollecitazioni nei pilastri si ha il seguente cambiamento di denominazione degli assi di riferimento.



7. Qualunque sia l'orientamento dei pilastri, essi vengono rappresentati in MacBeam con l'asse Y locale parallelo al lato verticale del monitor.
   Ciò comporta, nel caso si usi il riferimento di difetto, che i pilastri vengono rappresentati in modo diverso fra MacSap e MacBeam.



8. I segni degli sforzi vengono automaticamente adeguati alle convenzioni usate in MacBeam (convenzioni della Tecnica delle Costruzioni).
9. Vengono trasferite solo quattro condizioni di carico e quindi se si effettua l'analisi dinamica della struttura, le ultime due condizioni di carico di MacSap vengono sostituite con quelle derivanti dall'analisi dinamica.

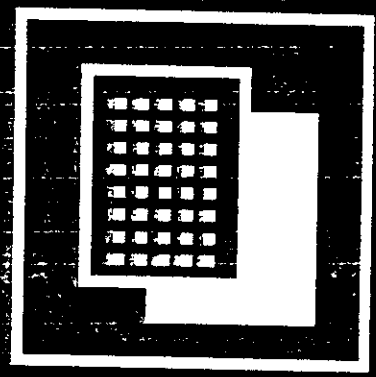
10. I codici di carico vengono automaticamente assegnati come segue:

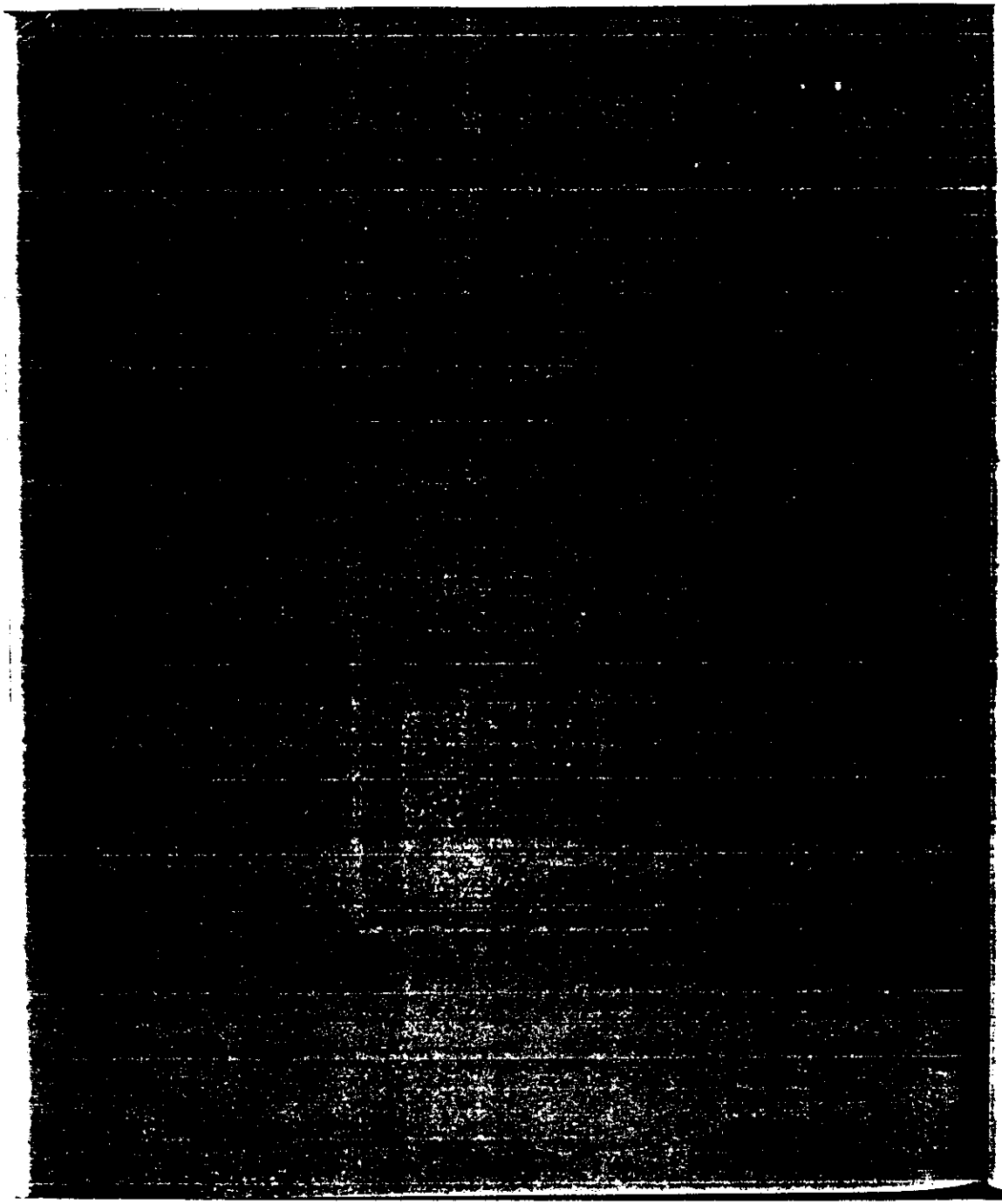
    se non si è effettuata l'analisi dinamica:
    condizione A: 1 (permanente)
    condizione B: 2 (accidentale)
    condizione C: 3 (accidentale)
    condizione D: 4 (accidentale)

    se si è effettuata l'analisi dinamica:
    condizione A: 1 (permanente)
    condizione B: 2 (accidentale)
    condizione C: -3 (accidentale nei due versi)
    condizione D: -3 (accidentale nei due versi escludentesi con la C)

11. Nel caso di analisi sismica con la tecnica dello spettro di risposta, gli sforzi sono calcolati come "valore efficace" e cioè come radice quadrata della somma dei quadrati dei contributi di ciascun modo.
    Gli sforzi risultano da ciò tutti positivi.
    Per poter costruire la funzione interpolante degli sforzi agli estremi degli elementi, funzione che consente di valutare gli sforzi per tutte le sezioni della trave, occorre attribuire un segno agli sforzi di estremità.
    Il segno che viene attribuito è quello derivante dalla somma algebrica dei contributi modali.
    Questo procedimento, pur essendo l'unico possibile, non fornisce garanzie teoriche sulla congruenza dei segni.

LE APPENDICI





Requisiti del sistema

MacSap è realizzato per i più diffusi sistemi operativi per personal computer: OS/Macintosh, MS-DOS ed OS/2.

Le varie versioni di MacSap hanno caratteristiche differenti e differenti limiti operativi. Nel seguito saranno descritte le principali caratteristiche della versione MacSap V.

In ogni caso si assume che l'utente abbia familiarità con il sistema operativo e con le convenzioni della interafaccia grafica del sistema Macintosh.

MacSap utilizza un sistema hardware per evitare l'uso abusivo del programma. Le modalità di installazione del dispositivo di protezione sono descritte in seguito.

MacSap può essere impiegato su calcolatori Apple Macintosh della famiglia II.

MacSap V richiede il microprocessore MC68020 o superiori ed un coprocessore matematico MC68881 o superiori ed almeno 4 Mb di RAM. E' indispensabile il disco rigido.

MacSap fà uso del colore automaticamente qualora il sistema impiegato lo consenta. E' consigliato l'uso di 16 colori.

Nella stampa, anche se si impiega una stampante a colori, la stampa avviene in bianco e nero.

MacSap si configura automaticamente sul tipo di monitor impiegato.

MacSap V consente di analizzare strutture costituite da 4000 nodi, 4000 elementi, 10000 gradi di libertà, 200 elementi e carichi tipo, 1000 elementi Rigel.

MacSap V usa sempre la doppia precisione (64 bit).

MacSap supporta le più comuni stampanti Apple sia ad impatto che con tecnica laser purché dotate di interprete PostScript.

I programmi sono compatibili con i sistemi operativi, i calcolatori e le periferiche Apple indicati ed esistenti alla data del rilascio del programma. Per i calcolatori e le periferiche uscite in seguito non si garantisce la compatibilità.

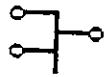
MacSap non richiede una procedura di installazione particolare. E' soltanto necessario copiare il programma su disco rigido ed avviarlo con la consueta procedura.

MacSap utilizza tre file ausiliari che sono richiesti per l'esecuzione di alcune funzioni. Nel dischetto i files hanno nome SPETTRO, SAGOMARIO, FORZANTE. Copiare i files dal disco programma ed installarli su disco rigido. Questi files possono essere messi dove si preferisce ed anche il nome può essere cambiato. Il programma, se non trova il file necessario, chiederà che gli venga indicato nome e collocazione.

Il dispositivo hardware per la protezione dall'uso abusivo del programma deve essere installato come segue:

EvE INIT

1. Copiare il file EvE INIT nella cartella di sistema del disco di avvio.



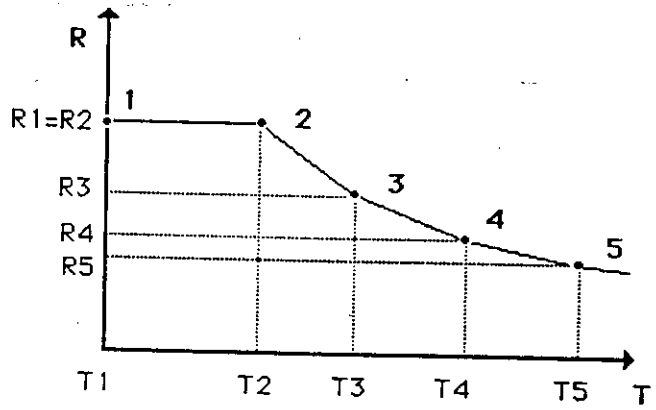
2. Spegnere il calcolatore.

3. Collegare il dispositivo hardware ad una porta ADB. Le porte ADB sono contrassegnate dal simbolo raffigurato qui accanto. Si sconsiglia di collegare il dispositivo tra il mouse ed il calcolatore in quanto l'eventuale attività del mouse potrebbe disturbare il corretto funzionamento del dispositivo.

4. Riavviare il sistema.

Il coefficiente di risposta è affidato ad un file di testo nel quale la funzione è assegnata per punti.

La funzione del coefficiente di risposta



Il programma opera una interpolazione lineare sui valori assegnati.

Qualora il periodo proprio superi l'ultimo valore assegnato nel file di testo viene considerato nel calcolo l'ultimo valore del coefficiente di risposta.

Vengono presi in considerazione i primi 29 punti assegnati ed il file di testo deve avere un minimo di 2 punti assegnati.

Formato del file:

periodo	coefficiente di risposta
T1	R1
T2	R2
.....	.....

Formato del file dello Spettro

Il file di testo può essere modificato tramite un comune text editor. Il file deve essere salvato come solo testo e, qualora il text editor lo chieda, il ritorno carrello deve essere inteso come un nuovo paragrafo.

SPETTRO

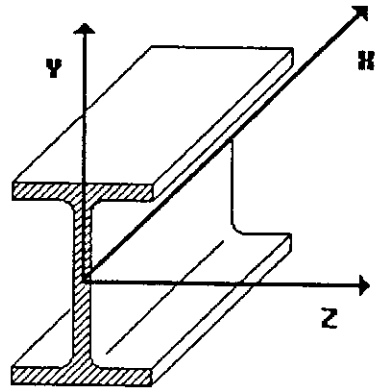
Con il programma è già fornito un file di testo con il nome "spettro" con i valori del coefficiente di risposta della normativa italiana.

per $t_o > 0.8$ sec $\quad R = 0.862 / t_o^{2/3}$
per $t_o \leq 0.8$ sec $\quad R = 1.0$

t_o	R
0.0	1.000
0.8	1.000
0.9	0.924
1.0	0.862
1.1	0.809
1.2	0.763
1.3	0.724
1.4	0.689
1.5	0.658
1.6	0.630
1.7	0.605
1.8	0.582
1.9	0.562
2.0	0.543

Formato del file del Sagomario

Le caratteristiche delle sezioni degli elementi **Asta** e **Trave generica** possono essere scritte su un file di testo abbinandole ad un nome convenzionale.
In questo modo tali caratteristiche possono essere assegnate all'elemento tramite il solo nome convenzionale.
Con il programma viene rilasciato un file contenente le caratteristiche dei profili IPE ed HEA.
Il file può essere modificato o vi possono essere effettuate aggiunte usando un comune text editor.
Il file deve essere salvato, a modifiche avvenute, come solo testo e, qualora il text editor lo richieda, il ritorno carrello deve essere inteso come un nuovo paragrafo.



nome del profilo — area della sezione — Jz Momento d'inerzia intorno all'asse Z

IPE 80 — 7.64 — 0.721 — 80.1 — 8.49

Jx Momento di inerzia tors. — Jy Momento d'inerzia intorno all'asse Y

Il sagomario fornito con il programma

IPE80	7.64	0.721	80.1	8.49
IPE100	10.3	1.14	171	15.9
IPE120	13.2	1.77	318	27.7
IPE140	16.4	2.63	541	44.9
IPE160	20.1	3.64	869	68.3
IPE180	23.9	5.06	1317	101
IPE200	28.5	6.67	1943	142
IPE220	33.4	9.15	2772	205
IPE240	39.1	12.0	3892	284
IPE270	45.9	15.4	5790	420
IPE300	53.8	20.1	8356	604
IPE330	62.6	26.5	11770	788
IPE360	72.7	37.3	16270	1043
IPE400	84.5	48.3	23130	1318
IPE450	98.8	65.9	33740	1676
IPE500	116.0	91.8	48200	2142
IPE600	156.0	172.0	92080	3387
HEA100	21.2	4.83	349	134
HEA120	25.3	5.81	606	231
HEA140	31.4	8.22	1033	389
HEA160	38.8	11.3	1673	616
HEA180	45.3	14.7	2510	925
HEA200	53.8	19.2	3692	1336
HEA220	64.3	28.0	5410	1955
HEA240	76.8	39.4	7763	2769
HEA260	86.8	47.8	10455	3668
HEA280	97.3	58.3	13673	4763
HEA300	112.5	77.7	18263	6310
HEA320	124.4	105.0	22928	6985
HEA340	133.5	127.0	27693	7436
HEA360	142.8	152.0	33090	7887
HEA400	159.0	197.0	45069	8564
HEA450	178.0	265.0	63722	9465
HEA500	197.5	347.0	86975	10367
HEA550	211.8	398.0	111932	10819
HEA600	226.5	454.0	141208	11271

L'unità di misura è il centimetro. Il nome del profilo deve essere formato al massimo da 20 caratteri.

L'analisi con la tecnica della storia della risposta richiede un file di testo che definisce la forza agente nel tempo sulla struttura.

Tale file di testo può essere scritto con qualsiasi programma di elaborazione testi ma deve essere registrato come solo testo.

Errori di sintassi in tale file sono segnalati dal programma con il messaggio di avviso "Errore di sintassi nel file FORZANTE".

Carichi applicati ai nodi

N						
n_1	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
----------						
n_N	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
m	S					
t_1	P_1					
----------						
t_m	P_m					
I_x	I_z	d_t				
V						

N numero di nodi ai quali è applicato il carico. (Seguiranno N righe: ciascuna per un nodo).

$n_{1..N}$ numero del nodo al quale è applicato il carico.

$F_x..M_z$ moltiplicatore del carico per ogni grado di libertà del nodo.

m numero di punti che descrivono la funzione di variabilità nel tempo del carico $2 < m < 100$. (Seguiranno m righe: ciascuna con una coppia di valori, tempo e ampiezza).

S moltiplicatore scalare della funzione.

$t_{1..m}$ $P_{1..m}$ coppia di valori che descrivono la forzante. Il primo valore è il tempo, il secondo l'ampiezza.

I_i numero di intervalli di calcolo. Massimo 2000.

I_s numero di intervalli per i quali si vuole che i risultati siano rappresentati o stampati.

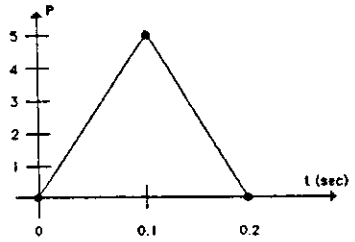
D_t intervallo di calcolo

V fattore di smorzamento applicato a tutti i modi. Intervallo ammesso: 0.0 (smorzamento nullo); 1.0 (100% dello smorzamento critico).

Esempio:

2						
5	100	0	0	0	0	0
6	100	0	0	0	0	0
3	1					
0	0					
0.1	5					
0.2	0					
2000	100	0.01				
0.05						

Una forza di 100 kg è applicata a 2 nodi, il nodo 5 ed il nodo 6, nella componente di spostamento X.
La forzante viene descritta tramite 3 punti:
[0,0] ; [0.1,5] ; [0.2,0].



La forzante ha come moltiplicatore 1.

Il calcolo sarà effettuato su 2000 intervalli di 0.01 secondi.

Quindi la durata totale del calcolo sarà di 20 secondi.

I risultati saranno rappresentati 100 volte.

Quindi la stampa avverrà ogni 2000/100 x 0.01 = 0.2 secondi.

Lo smorzamento della struttura è del 5%.

Accelerazione del suolo

N		
a_x	a_y	a_z
m	S	
t_1	P_1	
---	---	---
t_m	P_m	
I_i	I_s	d_t
V		

N deve essere zero.

a_x a_y a_z componenti, per le tre direzioni, della accelerazione del suolo.

Gli altri simboli restano quelli descritti in precedenza.

Forzante sinusoidale

E' possibile l'assegnazione diretta di una forzante sinusoidale di frequenza ed ampiezza assegnate.

Tale forzante è utilizzabile sia in caso di forze sulla struttura che di accelerazioni del suolo.

Porre il numero di punti di descrizione della forzante (m), pari a zero.

Far seguire, sulla stessa riga, l'ampiezza S e la frequenza f.

Non far seguire righe con la descrizione della funzione forzante.

Esempio:

Qualora, nell'esempio precedente, si volesse usare una forzante di ampiezza 10 e frequenza 6.25 si avrebbe:

```
 2
 5      100     0     0     0     0     0
 6      100     0     0     0     0     0
 0       10     6.25
2000     100    0.01
0.05
```


Errori relativi alla connessione della struttura

Nodo X: Non connesso
La struttura è formata da più parti non connesse tra loro. La mancanza di connessione è stata individuata verificando il nodo X. Probabilmente si è tracciato un elemento isolato o si sono "sovrapposti" degli elementi senza connetterli efficacemente nei nodi.

Errori relativi all'uso degli elementi

Elem. X: Non assegnato
Non si sono assegnate le caratteristiche dell'elemento X.

Elem. X: Winkler non orizzontale
Gli elementi Trave Winkler e Piastra Winkler devono essere paralleli al piano XY.
Questo messaggio viene emesso quando l'elemento X è un elemento Trave Winkler o Piastra Winkler che non soddisfa tale requisito.

Elem. X: Vincolo interno labile
Gli elementi Trave consentono di liberare i gradi di libertà con cui essi sono connessi ai nodi di estremità. Qualora venga individuato un elemento X per il quale tali gradi di libertà vengano liberati in modo da rendere l'elemento labile, ne viene dato avviso tramite questo messaggio. Uno dei più frequenti casi di labilità dell'elemento derivano dall'avere liberato i gradi di libertà relativi alle rotazioni intorno all'asse dell'elemento (Rx) per entrambi gli estremi dell'elemento.

Elem. X: Massimo numero Rigel
Il numero di elementi Rigel ammessi è inferiore al numero massimo di elementi consentiti quindi può accadere che si usino più elementi Rigel di quanti ne siano consentiti. Questo messaggio viene emesso appena l'elemento X supera il numero di elementi Rigel ammessi.

Elem. X: Duplicato primario Rigel
Non è ammesso che più elementi Rigel concorrano con il loro estremo primario nello stesso nodo. L'elemento X, segnalato nel messaggio, è l'elemento per il quale si è individuata questa evenienza.

Elem. X: Estremi connessi stesso nodo
I due estremi di uno stesso elemento elastico non possono essere connessi ad uno stesso nodo tramite elementi Rigel. L'elemento X, segnalato nel messaggio, è l'elemento per il quale si è verificata questa evenienza.

Elem. X: Uso Rigel o M-S non ammesso
L'uso degli elementi Rigel o del metodo Master-Slave è ammesso solo con elementi Trave. Qualora si individui un elemento X, che non sia un elemento Trave, connesso ad un elemento Rigel oppure connesso ad un nodo di un sistema master-slave, viene emesso questo messaggio.

Elem. X: Uso Rigel con master-slave
I nodi secondari di un elemento Rigel non possono essere nodi di un sistema master-slave. L'elemento X è l'elemento Rigel per il quale si è verificata tale eventualità.

Elem. X: Jacobiano nullo
Questo è un messaggio di errore che si riferisce esclusivamente agli elementi Assialsimmetrico, Deformazione piana oppure Piastra Winkler. Viene dato avviso che lo jacobiano della matrice di trasformazione dell'elemento X è nullo e quindi l'elemento è anomalo. Il caso più comune che genera questo errore è dovuto al tracciamento orario, anziché antiorario dell'elemento.

Elem. X: Non sul piano XY
Questo è un messaggio di errore che si riferisce esclusivamente agli elementi Assialsimmetrico, Deformazione piana oppure Piastra Winkler. Con questo messaggio viene dato avviso che l'elemento X non è stato tracciato sul piano XY. Si ricorda che tali elementi devono giacere sul piano XY.

Elem. X: Nodo K sull'asse.
Questo messaggio si riferisce soltanto agli elementi Trave per i quali è ammesso l'uso del nodo K. Si ricorda che il nodo K non può essere assegnato sull'asse dell'elemento in quanto rende indeterminato l'orientamento del riferimento locale. Questo messaggio indica che per l'elemento X si è assegnato un nodo K che giace sulla retta che costituisce l'asse dell'elemento.

Errori relativi al metodo master-slave

Nodo X: Slave di slave
Non è ammesso che un nodo slave di un sistema master-slave sia a sua volta nodo master di un altro sistema master-slave. Questo messaggio indica che il nodo X è slave di un nodo a sua volta slave.

Elem. X: Uso Rigel o M-S non ammesso
L'uso degli elementi Rigel o del metodo Master-Slave è ammesso solo con elementi Trave. Qualora si individui un elemento X, che non sia un elemento Trave, connesso ad un elemento Rigel oppure connesso ad un nodo di un sistema master-slave, viene emesso questo messaggio.

Errori relativi alla matrice di rigidezza della struttura

Meno di due equazioni
Non viene effettuata la fattorizzazione di matrici di una sola equazione o con nessuna equazione del tutto. Si è assegnata una struttura che ha in tutto meno di due gradi di libertà. Il problema non è ammesso.

Massimo numero di equazioni
Si è superato il numero massimo di gradi di libertà consentiti dal programma.

Semibanda X supera massimo
Si sono superate le dimensioni massime consentite per la semibanda della matrice. X indica la larghezza di semibanda necessaria. La larghezza di semibanda dipende dalla topologia della struttura. Si tratta di un errore difficile a verificarsi ma che richiede una modifica del modello della struttura.

Una sola equazione per blocco
Si sono superate le dimensioni massime di memorizzazione per ogni singolo blocco in cui la matrice di rigidezza è suddivisa. E' un errore che si verifica difficilmente. Richiede, per essere superato, una riduzione del modello della struttura oppure una modi-

fica delle connessioni.

Termine diagonale X,Y non positivo
Questo errore viene emesso in seguito ad un controllo sui termini diagonali della matrice di rigidezza dopo che questa è stata assemblata ed indica che un elemento diagonale non è positivo. Questo errore è legato alla formazione delle singole matrici di rigidezza degli elementi. I motivi che più di frequente sono causa di questo errore sono la mancanza di rigidezza di un elemento per gradi di libertà non appositamente vincolati (come le rotazioni nel caso degli elementi Asta) oppure a vincoli scorrettamente assegnati. Nel caso di analisi non lineare, può derivare da instabilità di un elemento. I simboli X,Y indicano che il termine non positivo si riferisce al nodo X per il grado di libertà Y (Y=1: Tx, Y=2: Ty etc).

Matrice mal condizionata
Questo errore viene emesso in seguito ad un controllo sui termini diagonali della matrice di rigidezza dopo che questa è stata assemblata ed indica che un elemento diagonale presenta un valore inferiore a quello dello "zero algoritmico" e quindi che la matrice è senzaltro malcondizionata. I motivi di questo tipo di malcondizionamento, per altro piuttosto raro, sono dovuti a differenze molto grandi tra le rigidezze degli elementi.

Matrice non definita positiva
Questo errore viene emesso in seguito a controlli sui "pivot" durante la fattorizzazione della matrice di rigidezza. Indica che si è individuato un termine pivotale che ha assunto un valore inferiore allo "zero algoritmico". Questo errore denota una matrice di rigidezza non definita positiva. Ciò può derivare da molti fattori. I più frequenti sono la labilità della struttura oppure una

differenza troppo grande nella rigidezza tra i gradi di libertà.

Errori relativi alla analisi dinamica

Numero masse inferiore a due
Il metodo di analisi modale non consente di risolvere problemi per i quali non siano state assegnate le masse per almeno due gradi di libertà.

Numero autovalori richiesto nullo
Si è richiesta un'analisi modale per nessun modo di vibrare. Assegnare il numero voluto di modi di vibrare richiesti nel dialogo delle Costanti dinamiche.

Matrice dinamica mal condizionata
Si è individuata una matrice dinamica mal condizionata. Il mal condizionamento della matrice dinamica è analogo a quello della matrice di rigidezza. E' possibile inoltre che le masse assegnate abbiano valori non equilibrati tra loro o rispetto alle rigidezze.

Convergenza non raggiunta
Il procedimento di estrazione degli autovalori è un procedimento iterativo per il quale è assegnato un numero massimo di iterazioni, superato il quale senza che si sia raggiunta la convergenza, viene emesso questo messaggio di errore. E' un errore raro legato al cattivo condizionamento della matrice dinamica.

Errori relativi alla analisi non lineare

Termine diagonale X,Y non positivo
Questo errore viene emesso in seguito ad un controllo sui termini diagonali della matrice di rigidezza dopo che questa è stata assemblata ed indica che un elemento diagonale non è positivo. Questo errore è legato alla formazione delle singole matrici di rigidezza degli elementi. Nel caso di analisi non lineare, può derivare da instabilità di un elemento. I simboli X,Y indicano che il termine non positivo si riferisce al nodo X per il grado di libertà Y (Y=1: Tx, Y=2: Ty etc).

Non raggiunta precisione
L'analisi non lineare avviene iterativamente. E' concesso un numero massimo di iterazioni superato il quale senza che si sia raggiunta la convergenza, il procedimento si arresta. Questo accade certamente in prossimità o in corrispondenza del carico critico della struttura.

Elemento X instabile
Durante la formazione della matrice di rigidezza dell'elemento X, si è verificato un superamento del carico critico nell'elemento. Si ha dunque un fenomeno di instabilità e si deve modificare l'elemento indicato nel messaggio.

Errori relativi a controlli di sicurezza

Questi controlli vengono effettuati per maggiore sicurezza in quanto non possono generalmente verificarsi secondo la logica del programma. Vengono in genere intercettati prima o impediti direttamente dalla interfaccia. Questi controlli vengono effettuati

per mettere al riparo i risultati da malfunzionamenti hardware o da errori di trasmissione.

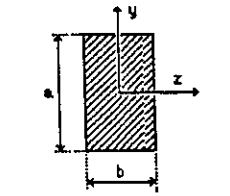
Termine diagonale X,Y indefinito
Questo errore viene emesso in seguito ad un controllo sui termini diagonali della matrice di rigidezza dopo che questa è stata assemblata ed indica che per il nodo X ed il grado di libertà Y si è individuato un valore che non è un numero in senso aritmetico (NaN e cioè "Not a Number" dello standard IEEE).

Errore X di scrittura su disco
Si è verificato un errore durante un'operazione di accesso al disco. Il termine X indica l'errore riportato dal sistema operativo. Fare riferimento al manuale del sistema operativo per individuare il tipo di errore. Può trattarsi di mancanza di spazio su disco.

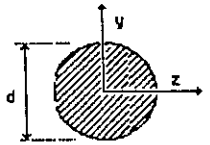
Spazio su disco insufficiente
Durante una operazione di scrittura su disco non si è trovato sufficiente spazio.

Elem. X: Lunghezza nulla
L'elemento X ha lunghezza nulla. Questo errore viene intercettato direttamente dalla interfaccia in quanto essa non consente di assegnare elementi di lunghezza nulla. E' un esempio tipico di controllo ripetuto per sicurezza.

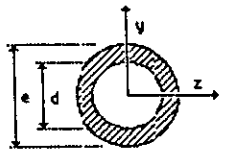
Elem. X: Inesistente
Nodo. X: Inesistente
L'elemento o il nodo X non è stato trovato dal programma durante la formazione della matrice di rigidezza di un elemento. Questo errore viene evitato direttamente dalla interfaccia. E' un esempio tipico di controllo ripetuto per sicurezza.



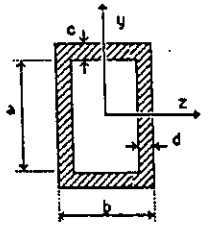
$Jy = b^3a/12$
$Jz = ba^3/12$



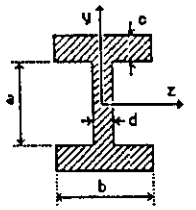
$Jy = Jz = \pi d^4/32$



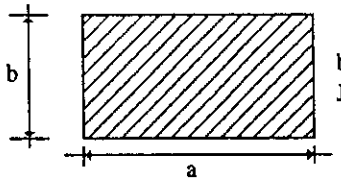
$Jy = Jz = \pi\,(e-d)^4/32$



$Jy = (b^3c + a(b^3 - (b-d)^3))/6$
$Jz = (b(a + 2c)^3 - a^3(b - 2d))/6$

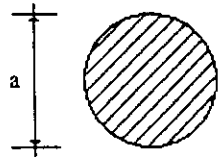


$Jy = (2b^3c + d^3a)/12$
$Jz = (b(a + 2c)^3 - a^3(b-d))/12$

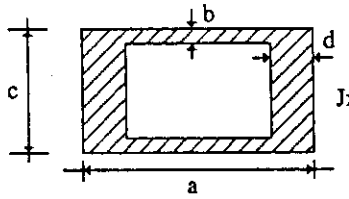


b<a

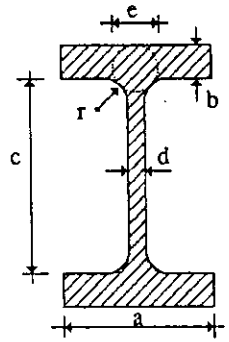
$Jx = ab^3 (1/3 - 0.21\, b/a(1 - b^4/12\, a^4))$



$Jx = \pi a^4/32$

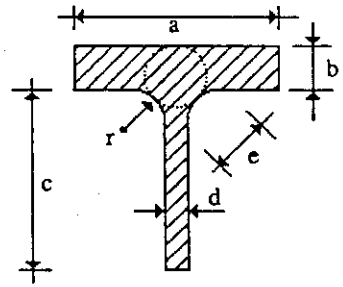


$$Jx = \frac{2bd\,(a - d)^2\,(c - b)^2}{ad + cb - d^2 - b^2}$$



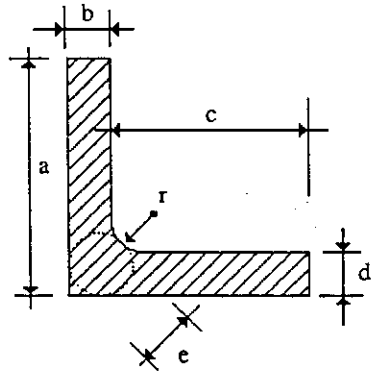
$Jx = 2J_1 + cd^3/3 + 2ke^4 (0.15 + + 0.10\, r/b)$

dove:
k = il minore tra d/b e b/d
$J_1 = ab^3(1/3 - 0.21b/a(1 - b^4/12a^4))$



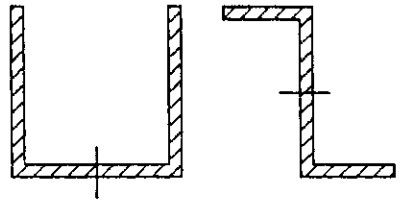
$Jx = J_1 + J_2 + ke^4 (0.15 + + 0.10\, r/b)$

dove:
k = il minore tra d/b e b/d
$J_1 = ab^3 (1/3 - 0.21b/a (1 - + b^4/12\, a^4))$
$J_2 = cd^3 (1/3 - 0.105\, d/c (1 - d^4/192\, c^4))$



$Jx = J_1 + J_2 + ke^4 (0.07 + 0.076\, r/b)$

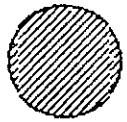
dove:
k = il minore tra d/b e b/d
$J_1 = ab^3 (1/3 - 0.21b/a (1 - + b^4/12a^4))$
$J_2 = cd^3 (1/3 - 0.105\, d/c (1 - d^4/192c^4))$



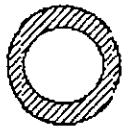
Jx = somma delle Jx per le singole sezioni ad L

Area al taglio

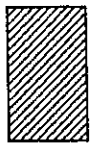
L'area al taglio è data dal prodotto $A_t = A \cdot k$ dove A è l'area della sezione e k è un fattore che dipende dalla forma della sezione.



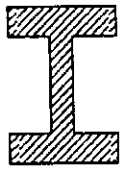
$$k = \frac{7 + 6v}{6\,(1 + v)}$$



$$k = \frac{4 + 3v}{2\,(1 + v)}$$



$$k = \frac{12 + 11v}{10\,(1 + v)}$$

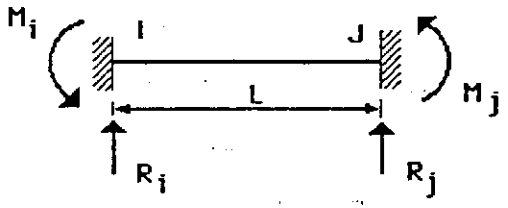


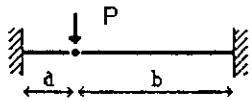
k = area dell'anima

Coefficienti di dilatazione termica

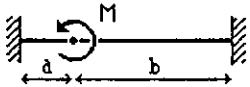
In gradi centigradi, per temperature comprese tra 0° e 100°.

Acciaio omogeneo		0.000015
Acciaio di qualità		0.000012
Ghisa		0.000010
Legno	da	0.000003
	a	0.000009
Conglomerato cementizio	da	0.000012
	a	0.000015
Vetro	da	0.000006
	a	0.000009
Muratura in laterizio		0.000005

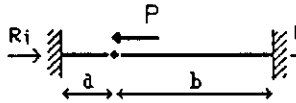




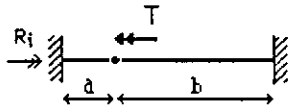
Mi=Pab²/L² Mj=-Pa²b/L²
Ri=(3a+b)Pb²/L³ Rj=(a+3b)Pa²/L³



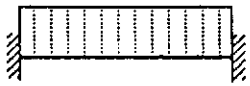
Mi=(2a-b)Mb/L² Mj=(2b-a)Ma/L²
Ri=6Mab/L³ Rj=-6Mab/L³



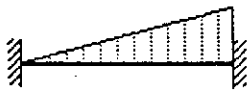
Mi=0 Mj=0
Ri=Pb/L Rj=Pa/L



Mi=0 Mj=0
Ri=Tb/L Rj=Ta/L



Mi=pL²/12 Mj=-pL²/12
Ri=pL/2 Rj=pL/2



Mi=pL²/30 Mj=-pL²/20
Ri=3pL/20 Rj=7pL/20

Valori medi del coefficiente di sottofondo in kg / cm³ per alcuni tipi di suolo :

Torba leggera	0.6 - 1.2
Torba pesante	1.2 - 1.8
Terreni vegetali	1.0 - 1.5
Depositi recenti	1.0 - 2.0
Sabbia di mare fina	1.5 - 2.0
Sabbia poco coerente	2.0 - 4.0
Terra molto umida	2.0 - 3.5
Terra poco umida	3.0 - 6.0
Terra secca	5.0 - 10.0
Argilla con sabbia	8.0 - 10.0
Argilla grassa	10.0 - 12.0
Sabbia compatta	8.0 - 15.0
Ghiaia con sabbia	10.0 - 25.0
Ghiaia compatta	20.0 - 30.0

Modulo elastico **E** e modulo elastico tangenziale **G** in kg/cm² dei più comuni materiali.

Materiali		E	G
Acciaio		2.100.000	810.000
Ghisa		1.000.000	380.000
Legno (parallelo alle fibre)	da	90.000	30.000
	a	300.000	100.000
Conglomerato cementizio	da	150.000	60.000
	a	300.000	150.000
Pietre da cava (nelle volte)		60.000	30.000
Mattoni (nelle volte)		28.000	10.000
Alluminio		745.000	270.000

Relazione tra il modulo di elasticità **E**, il modulo di elasticità tangenziale **G** ed il coefficiente di contrazione trasversale o di Poisson **v**:

$$G = \frac{E}{2(1+v)}$$

Relazione tra l'abbassamento **d** di un punto su suolo elastico di coefficiente di sottofondo **k** e la pressione **p** sul terreno:

$$p = d \cdot k$$

Allungamento lineare ΔL provocato in un elemento di lunghezza **L** con coefficiente di dilatazione termica α da una differenza di temperatura **t**:

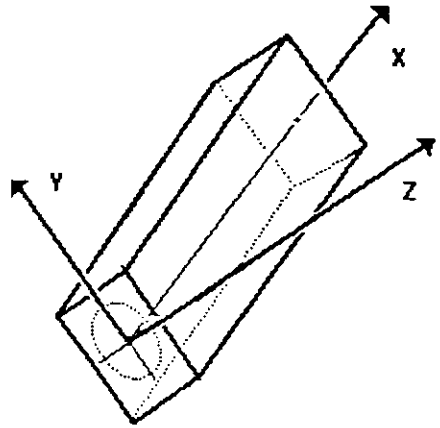
$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot t$$

Relazione tra la forza peso **P**, l'accelerazione di gravità **g** e la massa **M**:

$$M = P/g$$

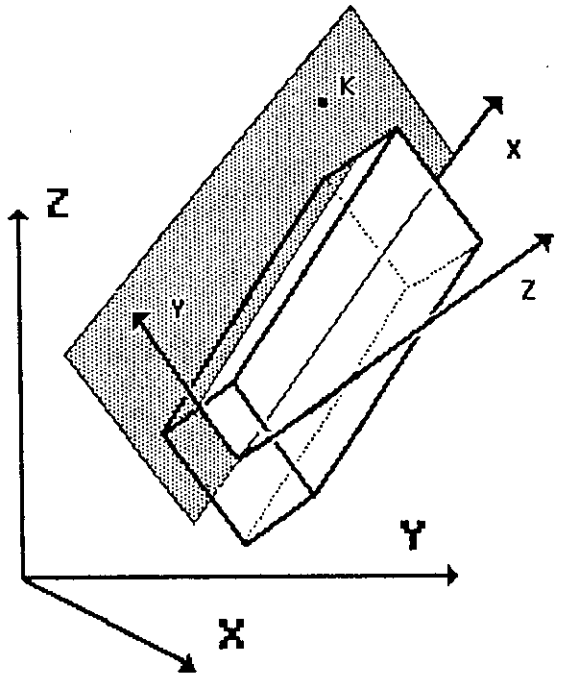
Sistema di riferimento locale: elementi a 2 nodi (1) 1

Le caratteristiche di un elemento sono descritte riferendosi ad un sistema di riferimento proprio di ciascun elemento detto "sistema di riferimento locale".
Il sistema di riferimento locale è un sistema di coordinate ortogonali destrorso.
Si assume come asse X locale l'asse longitudinale dell'elemento e cioè quello che passa per i due nodi di estremità dell'elemento.
Per gli altri due assi locali di riferimento si assumono gli assi principali di inerzia della sezione trasversale dell'elemento.



Il sistema di riferimento locale deve essere posizionato rispetto al sistema di riferimento globale.
L'asse locale X è determinato rispetto al sistema globale tramite la posizione dei nodi di estremità dell'elemento.
Ciò non è sufficiente a determinare la posizione della terna locale di assi di riferimento in quanto essi possono "ruotare" intorno all'asse locale X senza che ne venga individuata univocamente la posizione.

Occorre a tal fine un'altra informazione.
Il modo più pratico per definire la posizione della terna locale è quello di definire la posizione del piano contenente gli assi locali X ed Y rispetto al riferimento globale.
Ciò si ottiene agevolmente definendo un punto che appartiene a tale piano.
Questo punto, insieme agli altri due che determinano l'asse X e che giacciono per definizione sullo stesso piano, individuano il piano nel riferimento globale.



Questo punto viene indicato al programma come un nodo che può sia appartenere alla struttura oppure essere posizionato arbitrariamente a questo scopo.
Questo nodo viene detto "nodo K" in quanto nella notazione corrente le lettere i e j indicano i nodi di estremità della trave e la lettera immediatamente successiva, la "K" appunto, viene usata per individuare questo terzo nodo.
Il verso dell'asse X è quello stesso con cui è stato tracciato.
Tale verso viene indicato dalla freccia di contrassegno della selezione.
E' indispensabile per ogni elemento definire la posizione del sistema locale di riferimento rispetto a quello globale e cioè il "nodo K".
In MacSap per evitare questa laboriosa assegnazione esiste un riferimento di difetto (o di default) che viene automaticamente assunto qualora il nodo K non venga assegnato.

Sistema di riferimento locale: elementi a 3 nodi 2 1

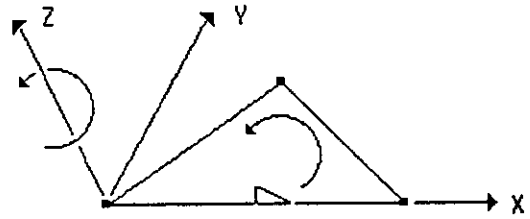
Il riferimento locale degli elementi a 3 nodi dipende dall'ordine con cui l'elemento viene tracciato.

L'asse locale X è il primo lato che viene tracciato ed il verso dell'asse X è quello del tracciamento.

L'asse locale Z è perpendicolare al piano dell'elemento.

Il verso positivo dell'asse Z è individuato in quanto forma un sistema destrorso rispetto al senso di tracciamento dei lati dell'elemento.

Un sistema è destrorso se una rotazione produce un avanzamento nel verso positivo dell'asse in una vite a filettatura destrorsa.



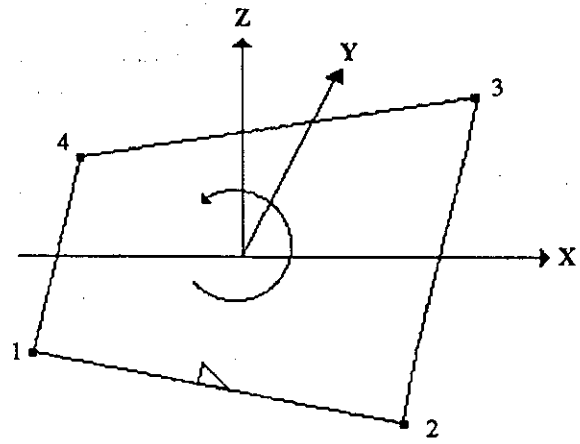
L'asse Y locale completa la terna locale destrorsa.

L'orientamento dell'asse Z è importante per il verso dei carichi agenti sull'elemento.

Nel caso degli elementi **Axial** e **Deformazione piana** è indispensabile che il tracciamento sia antiorario, cioè che l'asse Z locale sia parallelo e equiverso con quello globale.

Sistema di riferimento locale: elementi a 4 nodi 3 1

Il riferimento locale degli elementi a 4 nodi dipende dall'ordine con cui l'elemento è stato tracciato.



L'asse X locale passa per i punti mediani dei lati 2-3 e 4-1.

L'asse Z è normale al piano formato dall'asse X e dal segmento congiungente i punti di mezzo dei lati 1-2 e 3-4.

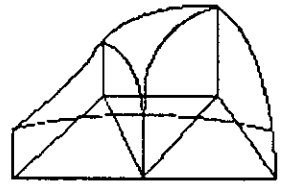
L'asse Y è normale ai primi due assi.

Qualora sussista un legame rigido e non elastico tra nodi di una struttura, gli spostamenti relativi tra tali nodi saranno legati da relazioni geometriche e non più elastiche.
Nel caso del piano XY gli spostamenti U e le rotazioni R del nodo $s = (x_s, y_s)$ rigidamente connesso al nodo $m = (x_m, y_m)$ saranno espressi dalle seguenti relazioni in funzione degli spostamenti del nodo m:

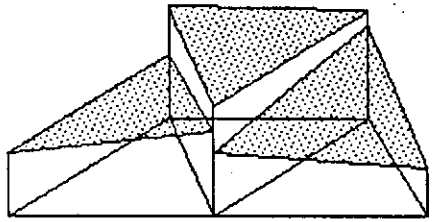
$$Ux_s = Ux_m + (y_m - y_s)\,Rz_m$$
$$Uy_s = Uy_m + (x_s - x_m)\,Rz_m$$
$$Rz_s = Rz_m$$

Gli elementi elastici connessi ai nodi s subiranno degli spostamenti legati da queste relazioni al nodo m.
Per tenere conto di ciò le matrici di rigidezza degli elementi elastici connessi ai nodi s vengono modificate impiegando le relazioni precedenti.
Più nodi s (slave) possono essere considerati rigidamente connessi ad un unico nodo m (master).
Tutte le matrici di rigidezza degli elementi connessi ai nodi s vengono allora riferite al nodo m.
Gli spostamenti dei nodi s legati al nodo m non vengono più considerati incognite del problema elastico in quanto individuati dagli spostamenti del nodo m e non vengono assemblati nella matrice di rigidezza globale che così diminuisce di ordine.
Il metodo master-slave consente di considerare rigidamente connessi i nodi secondo i gradi di libertà voluti tramite relazioni analoghe alle precedenti.

Per gli elementi monodimensionali esiste una funzione interpolatrice degli spostamenti "esatta" in quanto descrive esattamente la linea elastica dell'elemento privo di carico in campata.
Inoltre tale funzione è senzaltro conforme nel senso che gli spostamenti lungo la frontiera fra gli elementi sono eguali.
Ciò è evidente in quanto la frontiera in questo caso coincide totalmente con i nodi e gli spostamenti nodali sono certamente congruenti (eguali per tutti gli elementi che vi convergono).
Nel caso degli elementi bidimensionali ciò non si verifica.
Non è possibile infatti utilizzare una funzione interpolatrice "esatta" per descrivere il campo degli spostamenti dell'elemento.
Quindi la soluzione non è equilibrata in quanto il campo degli spostamenti è approssimato e quindi il minimo dell'energia potenziale non si può raggiungere per quanto si aumenti la densità della suddivisione.
Inoltre, benché si adottino funzioni conformi, le quali rispettano la congruenza degli spostamenti ai bordi tra elementi contigui, gli sforzi non assumeranno valori eguali lungo tali bordi.
Nella figura seguente, ad esempio, i campi di spostamento sono a "spicchi" di funzioni cubiche.



Gli sforzi invece variano all'interno di ogni elemento secondo diagrammi "a gradoni" come nella figura seguente.



Le interpretazioni possibili sono sostanzialmente due: o considerare i valori degli sforzi al centro degli elementi, o valutare le medie ai nodi degli sforzi ricavati dai diversi elementi che vi convergono.
In ogni caso, più è accentuata la variabilità dei diagrammi, meno precisa risulta la corrispondenza tra i valori calcolati e la soluzione esatta.
Per una distribuzione costante degli sforzi la corrispondenza è perfettamente soddisfatta; per una variazione lineare la corrispondenza è abbastanza bene approssimata; per una variazione quadratica la corrispondenza è meno soddisfacente; e così via.
Risulta pertanto opportuno, al fine di ottenere una uniforme precisione, infittire il reticolo degli elementi nelle zone in cui si hanno concentrazioni di tensioni con forti gradienti dei diagrammi.
I criteri di scelta del reticolo e della sua fittezza sorgono soprattutto da una adeguata esperienza di calcolo.
Nei primi approcci al metodo si possono analizzare casi prova per i quali sia nota la soluzione esatta, ripetere i calcoli con due o più gradi di fittezza del reticolo e giudicare la convergenza dei risultati in base alle differenze riscontrate.

La matrice di rigidezza della struttura è formata a blocchi.

Il numero delle equazioni per ogni blocco dipende dalle dimensioni della memoria veloce disponibile mentre il numero massimo di blocchi dipende dalla memoria di massa disponibile.

Con questo metodo si possono analizzare strutture di notevoli dimensioni.

Una analisi statica comporta la soluzione delle equazioni di equilibrio:

$$K u = R$$

seguita dal calcolo degli sforzi negli elementi.

Il vettore dei carichi R viene assemblato insieme alla matrice di rigidezza K della struttura.

Il metodo di eliminazione di Gauss è impiegato sul sistema simmetrico definito positivo delle equazioni.

L'algoritmo impiega il minimo numero di operazioni in quanto non opera sugli elementi nulli.

Nel programma viene usata la decomposizione L^T DL di K.

Le equazioni di equilibrio possono essere scritte:

$$L^T v = R$$

e

$$v = D L u$$

La soluzione per v in $L^T v = R$ è ottenuta per riduzione dei vettori di carico.

Il vettore u degli spostamenti è quindi calcolato per sostituzione all'indietro.

Nella risoluzione i vettori dei carichi sono ridotti contemporaneamente alla matrice K.

Per ogni operazione è necessario avere in memoria veloce tutti gli elementi della matrice necessari.

Nella fase di riduzione vengono portati in memoria veloce due blocchi e cioè il blocco principale, nel quale in fine verranno conservati gli elementi di D e di L, ed in successione tutti quei blocchi che sono modificati dalla decomposizione del blocco principale.

Il problema generalizzato agli autovalori si scrive :

$KU = M U L$ con M matrice delle masse
K matrice di rigidezza
U matrice modale
L matrice diagonale degli autovalori

Per la soluzione si impiega il " subspace iteration method ".

Il metodo può essere visto come l'applicazione ripetuta del metodo di Ritz nel quale gli autovettori calcolati in un passo vengono usati come vettori base di tentativo per il passo successivo finché non si raggiunge la convergenza ai p autovalori ed autovettori richiesti.

La risoluzione è condotta iterando simultaneamente con q vettori linearmente indipendenti dove q>p. Alla k-esima iterazione i vettori coprono il sotto spazio q-dimensionale E_k e vengono calcolate " migliori " approssimazioni degli autovalori e degli autovettori.

L'idea essenziale del subspace iteration method impiega il fatto che gli autovettori formano una base M-ortonormale del sotto spazio p-dimensionale degli operatori K ed M, che chiameremo E_∞. Quindi l'iterazione con p vettori linearmente indipendenti può essere vista come una iterazione in un sotto spazio.

I vettori iniziali coprono E_1 e le iterazioni continuano finché, con una assegnata precisione, sia coperto E_∞.

Il fatto che l'iterazione venga condotta in un sotto spazio ha importanti conseguenze. Il numero totale di iterazioni dipende da

come E_1 sia prossimo ad E_∞ e non di come ogni vettore approssimi, ad ogni iterazione, un autovettore.

La funzionalità dell'algoritmo risiede proprio nel fatto che è più facile trovare un sotto spazio p-dimensionale di partenza che sia prossimo a E_∞ che non trovare p vettori ognuno dei quali sia prossimo ad un autovettore richiesto.

Detta V la matrice dei vettori di partenza la k-esima iterazione si svolge come segue:

Risolvere per V_k nel sottospazio E_k :
$K V_k = M V_{k-1}$

Calcolare le proiezioni di K ed M in E_k ovvero le matrici generalizzate delle masse e di rigidezza corrispondenti ad E_k :

$K_k = V_k^T K V_k$
$M_k = V_k^T M V_k$

Risolvere l'autosistema di K_k ed M_k

$K_k Q_k = M_k Q_k L_k$

e calcolare la k-esima approssimazione migliorata degli autovettori:

$V_k = V_k Q_k$

Se si assumono vettori di partenza non ortogonali ad alcuno degli autovettori richiesti, le iterazioni convergono al risultato desiderato.

Per accelerare la convergenza, il numero di vettori q usato nelle iterazioni è assunto maggiore del numero p di autovettori desiderati.

Il numero di iterazioni richieste per raggiungere una accuratezza soddisfacente, dipende dai vettori iniziali.

Tali vettori iniziali vengono generati automaticamente dal programma assumendo $q = 2\,p$.

Il calcolo degli autovalori ed autovettori del sistema nel sotto spazio è condotto con il metodo di Jacobi interamente in memoria centrale in quanto lo spazio proiettato è p-dimensionale e quindi il problema è gestibile in memoria centrale: Ciò consente tempi di calcolo sufficientemente brevi nonostante la grande complessità del problema.

La proiezione degli operatori di inerzia e di rigidezza richiede invece la soluzione di un sistema lineare delle dimensioni della matrice di rigidezza della struttura e quindi viene condotto a blocchi usando la memoria di massa.

Tale algoritmo, accuratamente progettato e programmato, consente quindi di affrontare su un personal computer uno dei problemi numerici di più delicata e sofisticata soluzione.

Nel caso di un oscillatore a **n** gradi di libertà alla base del quale sia imposto uno spostamento z(t), detto q_i (t) lo spostamento relativo della massa m_i rispetto alla base si ha, trascurando i fattori di smorzamento, l'equazione del moto

$Mq'' + Kq = - Mz''$

dove M matrice delle masse o d'inerzia
K matrice di rigidezza
q coordinate lagrangiane

Consideriamo ora la matrice che si ottiene accostando gli autovettori, detta matrice modale :

$U = [U_1; U_2 ... U_n]$

Consideriamo anche la matrice Λ, detta matrice diagonale degli autovalori:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_n \end{bmatrix}$$

Tra tali matrici esistono le relazioni:

$U^T M U = I$

dove I è la matrice d'identità con i termini diagonali tutti pari all'unità e nulli gli altri.

Ed anche:

$U^T K U = \Lambda$

Introduciamo ora delle nuove coordinate, raccolte nel vettore ϕ, legate alle coordinate lagrangiane q dalla trasformazione lineare:

$q = U\phi$

Sostituendo nell'equazione del moto e premoltiplicando per U^T si ha:

$U^T M U \phi'' + U^T K U \phi = - U^T M z''$

la quale può scriversi:

$\phi'' + \Lambda\phi = U^T M z''$

Ovvero in forma scalare:

$$\phi''_i + \lambda_i \phi_i = -\sum_{j=1}^{no} U_{ij} m_j z'' \qquad i = 1,2.....n$$

la quale contiene una sola incognita per equazione.

Si è giunti cioè ad un sistema di equazioni disaccoppiate.

Introducendo la posizione

$$g_i = \sum_{j=1}^{no} U_{ij} m_j$$

si ha:

$\phi''_i + \lambda_i \phi_i = g_i z''$

Si può vedere che il modo i-esimo del sistema dà alla risposta globale un contributo pari alla risposta dell'oscillatore elementare di periodo $1/\lambda$ sottoposto alla frazione g_i del terremoto z''

Ciò giustifica il termine di coefficiente di partecipazione modale con il quale si indicano i fattori g_i.

Inoltre è possibile calcolare il contributo massimo del modo i-esimo.

Infatti, noto lo spettro di risposta delle accelerazioni, si conosce l'accelerazione spettrale a_i e quindi:

$$\max \phi_i = g_i a_i / \lambda_i$$

Conoscendo ϕ_i si torna alle coordinate lagrangiane originarie con

$$q = U\phi$$

Max ϕ_i dà alle coordinate lagrangiane originarie q il contributo $\Delta q_j = U_{ij} \max \phi_i$

Da queste si può ottenere qualsiasi grandezza possa interessare: spostamenti, sollecitazioni, tensioni.

Ciò ci consente di valutare il contributo massimo del modo i-esimo sulla più generica componente di risposta.

E' qui possibile introdurre la definizione di interesse concettuale delle forze statiche equivalenti per ogni modo, ossia le forze che, applicate staticamente, riproducono nel sistema i massimi effetti dinamici.

Tali forze statiche equivalenti $\Delta_i f$ sono date da :

$$\Delta_i f = g_i a_i Mu_i$$

Resta ora il problema di combinare gli effetti massimi associati a ciascun modo.

Il problema non ammette una soluzione univoca.

La normativa italiana indica la formula del valore efficace da applicarsi a livello di effetti (spostamenti, sollecitazioni, tensioni).

$$\text{Max } S_k = [\ \Sigma\ (\ \Delta_i S_k\ )^2\ ]^{1/2}$$

Il calcolo sopra descritto si svolge secondo le seguenti fasi:

1. Calcolo degli autovettori U e degli autovalori Λ per n modi di vibrare della struttura.
2. Lettura dell'accelerazione spettrale a_i dallo spettro di risposta.
3. Calcolo dei coefficienti di partecipazione modale:

$$g_i = \sum_{j=1}^{no} u_{ij} m_j$$

4. Calcolo del contributo massimo per ogni modo:
   $\max\phi_i = g_i a_i / \lambda_i$
5. Ritorno alle coordinate lagrangiane:
   $\Delta q_j = u_{ij}$ Max ϕ_i
6. Calcolo del contributo massimo per ogni grandezza.
7. Sovrapposizione modale con la formula del valore efficace.

Lo spettro di risposta è una funzione che esprime il legame tra periodo proprio di un oscillatore elementare e valore dell'accelerazione a cui la massa dell'oscillatore è sottoposta.

Lo spettro di risposta è dato dal prodotto di due termini:

$$a = R(t_o) \cdot s$$

dove:

$R(t_o)$	coefficiente di risposta
s	accelerazione sismica
a	accelerazione spettrale

Il coefficiente di risposta è una funzione adimensionale del periodo proprio di vibrare della struttura ed è assegnato dalla normativa.
In MacSap il coefficiente di risposta è affidato ad un file di testo.

L'accelerazione sismica è l'accelerazione agente alla base della struttura per l'evento sismico.
Essa è data direttamente dalla normativa come prodotto di una serie di coefficienti.
Nel caso della normativa italiana i principali coefficienti che concorrono a determinare l'accelerazione sismica sono i seguenti:

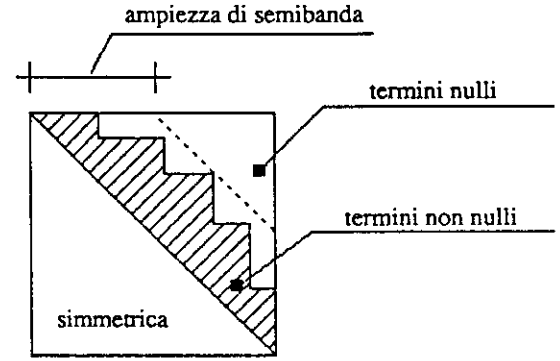
$$s = C \cdot g \cdot I$$

dove:

C	coefficiente di intensità sismica
g	accelerazione di gravità
I	coefficiente di protezione sismica

L'accelerazione sismica deve essere assegnata dall'utente in funzione dei requisiti della normativa.

L'algoritmo di fattorizzazione della matrice di rigidezza opera solo sulla semibanda della matrice.



Il numero di coefficienti da trattare durante la fattorizzazione è dunque legato all'ampiezza della semibanda.
Quest'ultima, a sua volta, è determinata dal modo in cui le variabili del problema sono ordinate e quindi è suscettibile di essere ridotta riordinando le variabili.
A questo scopo l'algoritmo di Cuthill e McKee (Cuthill E. e McKee J. (1969) "Reducing of sparse simmetric matrices". ACM Proc. 24th National Conf., New York) costituisce un metodo efficiente di rinumerare le variabili.
Secondo tale metodo, formato un grafo che descrive la connessione tra i nodi della struttura, si opera come descritto in seguito.

1. Scegliere un nodo del grafo e rinominarlo 1. Questo nodo deve essere posto ad una estremità del grafo e deve avere il minimo grado di connettività.
2. I nodi del grafo connessi al nuovo nodo sono rinominati 2, 3, etc., in ordine crescente del loro grado di connettività.
3. Si procede rinominando i nodi che sono connessi al nodo 2 e che non sono stati precedentemente rinominati. I nodi sono di nuovo rinominati secondo il loro ordine crescente di connettività.
4. Il passo precedente viene ripetuto per i nodi 3, 4, etc., fino a che la rinumerazione non sia completata.

Una scelta adeguata del nodo iniziale è importante per l'efficacia del metodo. Il primo nodo del grafo è pertanto scelto impiegando l'algoritmo di Gibbs, Poole e Stockmeyer P.K. (1976) "An algorithm for reducing the bandwidth and profile of a sparse matrix". SIAM J. Num. Anal., 13, pp. 236-250).

Nell'analisi con la storia della risposta (response history analysis) si richiede la soluzione della equazione

$$M\ddot{q} + c\dot{q} + kq = R(t)$$

dove R(t) può essere un vettore di carichi comunque variabili nel tempo oppure carichi risultanti dal moto del suolo.

Nel caso di moto del suolo, si assume che la struttura è uniformemente soggetta alla accelerazione del suolo q_s per cui le equazioni di equilibrio sono

$$M\ddot{q}_r + c\dot{q}_r + kq_r = -M\ddot{q}_s$$

dove q_r è lo spostamento relativo della struttura rispetto al suolo e cioè:

$$q_r = q - q_s$$

La soluzione del problema può essere affrontata con la sovrapposizione modale.

Si ammette cioè che la risposta della struttura possa essere efficacemente descritta da un ridotto numero dei modi più bassi di vibrare.

In questo caso, come si è già illustrato nel capitolo ANALISI SISMICA, si giunge al sistema di equazioni differenziali del secondo ordine disaccoppiate:

$$\phi'' + 2\Lambda\nu\phi + \Lambda^2\phi = U R$$

Rispetto a quanto già esposto compare il fattore di smorzamento v che si assume eguale per tutti i modi di vibrare.

L'integrazione di tali equazioni è effettuata con il metodo Θ di Wilson, il quale è un metodo incondizionatamente stabile di integrazione al passo.

Nel caso di accelerazioni al suolo, il secondo termine diviene:

$-U M\ddot{q}_s$

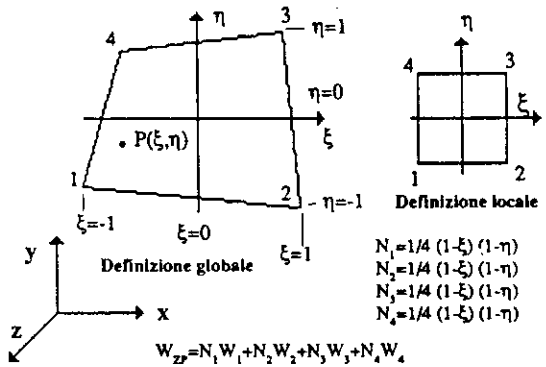
L'integrazione è accurata solo per quei modi per i quali l'intervallo di integrazione Δt è più piccolo di una certa frazione del periodo T della forzante.

Usando il metodo Θ di Wilson l'approssimazione dell'integrazione "filtra", escludendola dalla soluzione, la risposta dei modi più alti per i quali $\Delta t/T$ è grande.

L'elemento Piastra Winkler è ottenuto aggiungendo all'elemento Guscio le reazioni nodali verticali dovute ad un sottostante terreno elastico secondo Winkler. Con tale implementazione è possibile affrontare in modo semplice una serie di problemi la cui soluzione richiede altrimenti in questo caso notevoli oneri al progettista. Il problema delle strutture bidimensionali su suolo alla Winkler infatti è stato sinora affrontato con schemi a grigliato equivalente, che non consentono l'esame degli sforzi normali e, se la geometria dell'opera è complessa, costringono ad una discretizzazione laboriosa essendo i risultati assai sensibili alla discretizzazione. Oppure è stato affrontato impiegando elementi Piastra o Guscio insieme ad elementi Boundary. Lo schema è in questo caso sostanzialmente corretto ma, se la geometria della mesh è irregolare, il calcolo della rigidezza assiale dei Boundary è spesso oneroso. Nell'elemento Piastra Winkler la rigidezza verticale dovuta al letto di molle sottostante un elemento piano è invece valutata facendo riferimento all'elemento isoparametrico a 4 nodi.
Indicando con $Ni=(N_1\ N_2\ N_3\ N_4)$ il vettore delle funzioni di trasferimento e con $Wi=(W_1\ W_2\ W_3\ W_4)$ quello degli spostamenti nodali, lo spostamento di un generico punto P (ξ, η) può essere espresso con:
$W_{ZP}=(Ni)\ (Wi)^T$
La reazione di incastro perfetto dovuta ad un generico carico Q, agente in direzione Z, possono essere calcolate con:
$Ri=\int_A (Ni)^T Q\ dx\ dy$
Posto $Q=K\ W_Z=K\ (Ni)\ (Wi)^T$ si ha:
$Ri=\int_A (Ni)^T K\ (Ni)\ dx\ dy\ (Wi)^T$ dove K rappresenta il modulo di Winkler.
Posto $dx\ dy=\det[J]\ d\xi\ d\eta$, dove [J] rappresenta lo Jacobiano dell'elemento si ha:
$[R]=\int^1_{-1} \int^1_{-1} (Ni)^T K\ (Ni)\ \det[J]\ d\xi\ d\eta$
con R matrice di rigidezza del suolo alla Winkler.

Lo sviluppo degli integrali appena indicati è effettuato tramite integrazione numerica di Gauss. Noti i valori di Wi, il calcolo della pressione di contatto è facilmente ricavabile con:
Q=K W.
Va inoltre notato che questo metodo consente di scrivere una matrice 4x4 che rappresenta le reazioni del terreno in modo esatto mentre l'uso degli elementi Boundary consente di influire sulla sola diagonale della matrice non consentendo quindi di modellare gli effetti di accoppiamento degli spostamenti.

Le funzioni di forma dell'elemento isoparametrico



L'elemento Piastra adottato in MacSap è l'elemento a tre gradi di libertà per nodo basato sul modello classico della piastra sottile di Kirchhoff (DKT, Discrete Kirchhoff Theory).

L'elemento è il ben noto elemento HCT dovuto a Clough e Felipa (Clough R.W, Felipa C.A. " A refined quadrilateral element for analysis of plate bending" Proc. Conf. of Matrix Methods in Structural Mechanics, Ohio, 1968 pp. 399-440).

L'elemento è un elemento compatibile a tre nodi ed è formulato sulla suddivisione dell'elemento completo in tre sotto triangoli. Un polinomio cubico incompleto (9 termini) è impiegato in ogni sotto regione per descrivere lo spostamento trasversale mentre le rotazioni variano linearmente lungo i bordi.

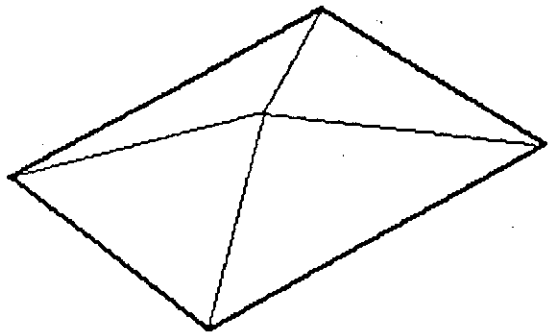
La formulazione adottata in MacSap è quella che impiega le coordinate di area nel cosiddetto elemento LCCT-9.

Nella costruzione di mesh quadrangolari viene usato lo schema "a diamante" suddividendo il quadrilatero in quattro triangoli ed eliminando poi con una condensazione statica i gradi di libertà del nodo interno.

Questo tipo di elemento è considerato un punto di riferimento nell'analisi delle piastre inflesse per l'uso esteso che ne è stato fatto e per i numerosi studi teorici di cui è stato oggetto.

L'elemento soddisfa i "patch" test, non si "blocca" e non presenta modi nulli spurii di energia. E' un elemento molto efficace ed impiegato in numerose applicazioni.

Usando elementi triangolari la mesh può influire in modo significativo sulla soluzione. L'uso dell'elemento quadrangolare è invece generalmente molto efficace. L'elemento può essere impiegato solo per l'analisi di piastre e gusci sottili.



Lo schema " a diamante" dell'elemento Piastra a quattro nodi

Nel seguito si accenna brevemente agli effetti del secondo ordine nell'analisi di sistemi di travi ad asse rettilineo. I criteri informatori del metodo d'analisi sono sviluppati a partire dalla formulazione variazionale dell'equilibrio elastico della trave snella pressoinflessa, come stazionarietà del funzionale dell'energia potenziale totale definito sulla classe delle configurazioni deformate congruenti. La trave viene assunta di sezione costante e sottoposta a sforzo assiale costante. Vengono assunte come funzioni di forma nella modellazione del campo di spostamenti trasversali dell'asta le funzioni di stabilità, ossia le soluzioni, dipendenti dallo sforzo assiale, dell'equazione differenziale del quart'ordine dell'equilibrio elastico della trave snella pressoinflessa sotto assegnati spostamenti e rotazioni all'estremità. L'equazione variazionale, con tale modello, genera il legame tra sforzi e spostamenti generalizzati nel quale le rigidezze della trave sono espresse come somme di una parte elastica dipendente implicitamente dallo sforzo assiale e da una parte geometrica che dipende ancora implicitamente dallo sforzo assiale ed è per esso moltiplicata. Anche i carichi nodali equivalenti vengono a dipendere implicitamente dallo sforzo assiale. L'analisi della struttura sotto distorsioni e carichi assegnati è svolta in modo iterativo partendo dalla distribuzione iniziale di sforzi assiali data dalla soluzione del problema lineare. Ad ogni iterazione questi vengono aggiornati ed il procedimento si arresta quando in due iterazioni successive gli spostamenti nodali attingono il medesimo valore. Il modello riproduce in maniera esatta il comportamento, con effetti del secondo ordine, di una trave prismatica di lunghezza qualunque sottoposta a carico trasversale uniforme. Quando ricorrono queste condizioni, la discretizzazione di un sistema di travi ha come nodi quelli "naturali" della struttura (giunzioni trave-pilastro, punti di cambiamento di sezione, di proprietà meccaniche, di diagramma di carico). Pertanto il modello è applicabile come un qualunque

elemento finito di trave previa definizione delle caratteristiche meccaniche, di sezione e di carico medie dell'elemento.
Si assume che la trave sia di sezione costante e che il carico distribuito q sia costante rispetto ad x.
Lo spostamento $v(x)$ e la rotazione $\varphi(x)$ lungo la trave, assunti nella modellazione, sono l'integrale generale del sistema di equazioni di equilibrio indefinite:

$$GA_t (d^2v/dx^2 - d\varphi/dx) + q = 0$$
$$EI\, d^2\varphi/dx^2 - N\varphi + GA_t (dv/dx - \varphi) = 0$$

che viene espresso in forma tale che le quattro costanti arbitrarie in esso contenute si identifichino con le determinazioni dello spostamento v e della rotazione φ alle estremità della trave, che vengono raccolti nel vettore degli spostamenti generalizzati w.
Si ha pertanto:

$$v = W^T_v\, w + Q_v q$$
$$\varphi = W^T_\varphi\, w + Q_\varphi q$$

dove W_v e W_φ sono i vettori delle funzioni di forma del campo di spostamenti per q=0.
Inserite queste espressioni nelle precedenti ed operate le variazioni rispetto a w si ottiene la relazione:

$$S = Kw + F$$

che lega le forze generalizzate e gli spostamenti generalizzati dove la matrice di rigidezza K ed il vettore dei carichi nodali equivalenti F dipendono dalla forza assiale N.

Sono qui di seguito elencati alcuni testi di carattere generale per chi volesse approfondire alcuni argomenti.
Questa bibliografia non costituisce un riferimento alla letteratura usata per l'implementazione di MacSap.

Bathe K.J., *Finite element procedures in engineering analysis* Prentice Hall, Englewood Clift, NJ, 1982

Bathe K.J., Wilson E.L., *Numerical method in finite element analysis* Prentice Hall Inc., Englewood Clift, NJ, 1976

Biggs J.M., *Introduction to structural dynamics* McGraw-Hill, New York, N.Y., 1964

Brebbia C.A., Connor J.J., *Fondamenti del metodo degli elementi finiti* Clup, Milano, 1978

Capurso M., *Introduzione al calcolo automatico delle strutture* A. Cremonese, Roma, 1977

Castiglioni A., *Introduzione alla dinamica delle strutture* Masson Italia, Milano, 1978

Clough R.W., Penzien J., *Dynamic of structures* McGraw-Hill, New York, N.Y., 1974

C.N.R., Istruzioni 10024-84 *Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo*

Corradi Dell'Acqua L., *Instabilità delle strutture* Masson Italia, Milano, 1983

Gavarini C., *Dinamica delle strutture* ESA, Roma, 1978

Giuffrè A., *Analisi matriciale delle strutture* Tamburini, Milano, 1973

Hinton H., Owen D.R.J., *Finite element Programming* Academic Press, 1977

Kardestunces H. (ed.), *Finite element handbook* McGraw-Hill, 1987

Paz M., *Structural dynamics* Van Nostand Reinhold New York, N.Y., 1980

Przemieniecki J.S., *Theory of matrix structural analysis* McGraw, 1968

Softing *Applicazioni del metodo degli elementi finiti in edilizia* Softing, Roma, 1990

Softing *Gli elementi finiti nella progettazione edile* DEI, Roma, 1988

Softing *Progettare con MacSap* voll. 1 e 2 Softing, 1988 e 1989

Spagnuolo R., *"Human interfaces in structural analysis software" Reliability and robustness on engineering software* 1ª international conference Como, 1987, Elsevier, 1987

Spagnuolo R., *"Intelligent interface for software reliability" Reliability and robustness on engineering software* 2nd international conference Milano, 1991, Elsevier, 1987

Thompson-Hunt, *A general theory of elastic stability* Jhon Wiley e Sons, 1982

Toniolo G., *Analisi strutturale con l'elaboratore elettronico* Masson Italia, Milano, 1981

Toniolo G., Malerba P.G., *Metodi di discretizzazione dell'analisi strutturale* Masson Italia, Milano, 1981

Zienkiewicz O.C., *The finite element method in structural and continuum mechanics* McGraw-Hill Inc., 1967